



Omakotitaloon soveltuvan Tulimax- pellettilämmitysjärjestelmän käytettävyys

Jari Tuikkanen

Opinnäytetyö

Toukokuu 2006



**JYVÄSKYLÄN
AMMATTIKORKEAKOULU**

Luonnonvarainstituutti

Tekijä(t) TUIKKANEN Jari	Julkaisun laji Opinnäytetyö			
	Sivumäärä 77	Julkaisun kieli Suomi		
	Luottamuksellisuus <input checked="" type="checkbox"/> Salainen 10.4.2011 saakka			
Työn nimi Omakotitaloon soveltuvan Tulimax-pellettilämmitysjärjestelmän käytettävyys				
Koulutusohjelma Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma				
Työn ohjaaja(t) VESISENAHO Tero				
Toimeksiantaja(t) Bioenergiasektorin kehittäminen eteläisessä Keski-Suomessa -hanke				
<p>Tiivistelmä</p> <p>Työn tilaajana oli HT-Enerco Oy, jonka toimialaa ovat biokeskuslämmityslaitteet. Työn toimeksiantajana toimi Bioenergiasektorin kehittäminen eteläisessä Keski-Suomessa -hanke. Työn tavoitteena oli tutkia Tulimax-pellettilämmitysjärjestelmän käytettävyyttä pitkäaikaisessa testissä. Testaus jakautui toiminnan seuraamiseen simuloituissa häiriötilanteissa, sekä tasaisella tehokuormalla kuormitettaessa. Testien aikana arvioitiin käyttöohjeiden toimivuutta.</p> <p>Testin kesto oli 7 viikkoa, jona aikana polttoaine ja tehokuorma vaihtelivat. Polttoaineena käytettiin Vapon 6 ja 8 mm puupellettiä. Jatkuvina tehokuormina käytettiin 20, 10 ja 5 kilowattia. Havaintoja tehtiin päivittäin järjestelmästä mahdollisimman yhteneväiseen aikaan, jolloin vuorokautinen muutos pystyttiin osoittamaan. Laitteistosta määritettiin lämpökamerakuvauksen avulla kriittisiä pintalämpötiloja häiriötilanteessa ja normaalin toiminnan aikana.</p> <p>Tulosten perusteella pellettilämmitysjärjestelmän käyttö on helppoa. Oikeilla säädöillä päästään hyvään hyötysuhteeseen. Testejä suoritettaessa löydettiin kehittämiskohteita laitteistosta, osa tehdyistä havainnoista johti välittömiin toimenpiteisiin. Testeissä löydettiin jatkotutkimusta vaativia kysymyksiä.</p>				
Avainsanat (asiasanat) pelletit, biopolttoaineet, poltto, käytettävyys, testaus, rakentaminen, keskuslämmitys				
<p>Muut tiedot</p> <p>Työ sisältää liitteitä 48 sivua. Testien tarkan tiedot ja analysoinnit ovat liitteissä 3–10, jotka ovat salaisia 10.4.2011 asti</p>				

Author(s) TUIKKANEN, Jari	Type of Publication Bachelor's Thesis	
	Pages 77	Language Finnish
	Confidential <input checked="" type="checkbox"/> Until 10.4.2011	
Title The Usability of a Tulimax-pellet Heating System		
Degree Programme Degree Programme in Agriculture and Rural Industries		
Tutor(s) VESISENAHO, Tero		
Assigned by The Development of a Bioenergy Network in Northern Central Finland -project HT Enerco Ltd.		
<p>Abstract</p> <p>This thesis was ordered by HT Enerco Ltd and the Development of a Bioenergy Network in Central Finland -project. The aim of this thesis was to find out the usability of the 20 kW pellet heating system in a long lasting test, and to define the possible development needs. The test was divided to a simulated malfunction period and to a constant heat load period. The usability of the operation and maintenance instructions of the system was also analysed during the test.</p> <p>The total duration of the tests was seven weeks. Both the fuel and the heat load were varied during the tests. Two different pellet dimensions (diameter: 6 and 8 mm) of the same producer were used in the tests. The constant heat loads used in the tests were 20, 10 and 5 kW. Flue gas measurements were taken and observations made daily at the same time to find out daily changes in the parameters. During the tests, the critical surface temperatures of the equipment were measured with a thermograph camera during a simulated malfunction and constant heat load periods.</p> <p>The use of pellets in the central heating system was easy. The combustion efficiency was good when the adjustments were in place. A list of development subjects were found out during the tests. A part of the development suggestions were leading immediately to changes in the system and new test questions were defined.</p>		
Keywords pellet, biofuel, combustion, usability, testing, construction, central heating		
Miscellaneous Bachelor's Thesis includes 48 p. appendixes. Detailed information and analysis of tests are presented in appendixes 3 to 10 which are confidential until April 10, 2011		

SISÄLTÖ

1 PELLETTILÄMMITYS SUOMESSA JA EUROOPASSA	4
2 TYÖN TAVOITTEET	6
3 PELLETTILÄMMITYSJÄRJESTELMÄN RAKENNE	7
3.1 Poltin	8
3.2 Kattila	9
3.3 Siirtimet	11
3.4 Varasto	14
4 PELLETTIN OMINAISUUDET	18
5 TESTIT	22
5.1 Häiriötesti	23
5.2 Pitkäaikaistesti	24
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	26
LÄHTEET	29
Liite 1. Testeissä käytetyn mittarin Testo 300 M tiedot	31
Liite 2. Testin aikataulu 2006	33
Liite 3. Käyttöohjeet	34
Liite 4. Lämpökamerakuvaus	36
Liite 5. Yleisiä mittaustuloksia	38
Liite 6. Keskeiset johtopäätökset	46
Liite 7. Testijakso 1	52
Liite 8. Testijakso 2	55
Liite 9. Testijakso 3	63
Liite 10. Testijakso 4	67

KUVIOT

KUVIO 1. Pellettipoltintyytit: alasyöttöinen, sivusyöttöinen ja ripotteleva (kuvat VTT).....	8
KUVIO 2. Vaaka- ja pystykonvektiokattilat (kuvat HT-Enerco).....	10
KUVIO 3. Spiraalin asennus (kuva VTT).....	12
KUVIO 4. Ruuvien asennus (kuva VTT)	13
KUVIO 5. Pneumaattinen pelletinsiirtolaitteisto (kuva PIV Oy)	14
KUVIO 6. Tilantarve-ero polttoaineilla (kuva Alakangas 2000, 149)	15
KUVIO 7. Testauslaitteisto	23
KUVIO 8. Lämpökamerakuvat normaalin käynnin aloitus- ja lopetus-tilanteessa	36
KUVIO 9. Lämpökamerakuvat häiriötilanteen aloitus- ja lopetus-tilanteessa	37
KUVIO 10. Kattilan pintalämpötilat.....	38
KUVIO 11. Polttimen eri osien lämpötilat.....	39
KUVIO 12. Veto eri testijaksoilla	40
KUVIO 13. Käynti- ja seisonajaksojen jakautuminen kokonaisajasta	41
KUVIO 14. Kokonaishyötysuhteet eri jaksoilla	43
KUVIO 15. Johtumishäviöt seisona-ajan funktiona	45
KUVIO 16. Hyötysuhdevaatimukset eri polttoaineilla teholuokittain (kuva standardista EN 12809:2001)	46
KUVIO 17. Poltinputken ilmareiät tukossa.....	50
KUVIO 18. Puupölyä polttimen kotelossa.....	53
KUVIO 19. Tuhkan muodostuminen suoja-putkeen.....	53
KUVIO 20. Poltinputken nuohouksen jälkeen kertynyt tuhka.....	56
KUVIO 21. Tuhkan muodostuminen poltinputkeen (vas.), sekä suoja-putkeen ennen(kesk.) ja jälkeen nuohouksen (oik.) 20 kW tehokuormalla.....	64
KUVIO 22. Savukaasun lämpötilan ja hyötysuhteen kehitys 20 kW tehokuormalla ..	65
KUVIO 23. Häkäarvot eri jäännöshappipitoisuuksilla 20 kW tehokuormalla	66
KUVIO 24. Typenoksidit hapen funktiona 20 kW tehokuormalla.....	66
KUVIO 25. Tuhkan muodostuminen poltinputkeen (vas.), sekä suoja-putkeen ennen (kesk.) ja jälkeen nuohouksen (oik.) 10 kW tehokuormalla.....	68
KUVIO 26. Liian loivassa laskukulmassa olleeseen putkeen holvaantunutta pellettiä	69
KUVIO 27. Tuhkan muodostuminen poltinputkeen (vas.), sekä suoja-putkeen ennen (kesk.) ja jälkeen nuohouksen (oik.) 10 kW tehokuormalla.....	70

KUVIO 28. Savukaasun lämpötilan ja hyötysuhteen kehitys 10 kW tehokuormalla..	71
KUVIO 29. Häkäarvot eri jäännöshappipitoisuuksilla 10 kW tehokuormalla	72
KUVIO 30. Typenoksidit hapen funktiona 10 kW tehokuormalla.....	73
KUVIO 31. Tuhkan muodostuminen poltinputkeen (vas.), sekä suojaputkeen ennen (kesk.) ja jälkeen nuohouksen (oik.) 5 kW tehokuormalla.....	74
KUVIO 32. Tuhkan muodostuminen poltinputkeen (vas.), sekä suojaputkeen ennen (kesk.) ja jälkeen nuohouksen (oik.) 5 kW tehokuormalla.....	75
KUVIO 33. Mutkaputken asennuskuvaus.....	75
KUVIO 34. Savukaasun lämpötilan ja hyötysuhteen kehitys 5 kW tehokuormalla....	77
KUVIO 35. Häkäarvot eri jäännöshappipitoisuuksilla 5 kW tehokuormalla.....	78
KUVIO 36. Typenoksidit hapen funktiona 5 kW tehokuormalla.....	79

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Testissä käytetyn pelletin ominaisuuksia	21
TAULUKKO 2. Laitteiston asetukset testijaksolla 1.....	52
TAULUKKO 3. Polttimeen häiriöt testijaksolla 1	54
TAULUKKO 4. Laitteiston asetukset testijaksolla 2.....	55
TAULUKKO 5. Polttimeen häiriöt testijaksolla 2	57
TAULUKKO 6. Laitteiston asetukset testijaksolla 3.....	63
TAULUKKO 7. Laitteiston asetukset testijaksolla 4.....	67
TAULUKKO 8. Polttimeen häiriöt viikolla 1	68
TAULUKKO 9. Polttimeen häiriöt viikolla 2.....	70
TAULUKKO 10. Polttimeen häiriöt	76

1 PELLETTILÄMMITYS SUOMESSA JA EUROOPASSA

Suomen metsätalouden mekaanisessa jalostuksessa syntyviä sivutuotteita on perinteisesti käytetty sellaisenaan tuotantolaitoksen yhteydessä olevissa lämpölaitoksissa. Pelletiksi jalostamisen myötä sivutuotteen liikuteltavuus on lisääntynyt ja ulkomaiden markkinoilla olevan kysynnän vuoksi pelletin tuotannosta vientiin menevä osuus on suuri, noin 80 %. Pelletin käyttö Suomessa on kasvanut voimakkaasti muiden energiamuotojen hinnan nousun takia.

Alan kehitys on ollut nopeaa. Vuonna 2000 Suomessa arvioitiin pellettiä valmistettavan 40 000 t ja käytettävän 2 000 t, kun vuotta myöhemmin vastaavan käytön arvioitiin olevan 20 000 tonnia (Paju & Alakangas 2002). Arvioitu tuotannon määrä vuonna 2004 oli 190 000 tonnia (Tilastotietoja 2006a). Vuoden 2005 aikana markkinajärjestelyiden avulla Vapon tuotantokapasiteetti Suomessa nousi yli 650 000 tonniin (Pakkannen 2005, 22). Lisäksi Suomessa on pienempiä toimijoita, jotka myyvät oman tuotantonsa. Ruotsissa pelletin valmistus vuonna 2000 oli 550 000 tonnia. Vuonna 2000 Saksan tuotantokapasiteetti oli 11 700 tonnia, kun vuonna 2005 kapasiteetti oli noussut 385 350 tonniin. Saksassa käytetystä pelletistä tuonnin osuus oli 29 % vuonna 2005 (Fischer 2005, 4–5). Kapasiteettia useissa maissa on enemmän kuin tuotantoon on ollut ohjattavissa raaka-ainetta. Ruotsissa omakotitalokokoluokan (< 35 kW) pellettikeskuslämmityskattiloita arvioitiin vuonna 2001 olleen 31 000 kpl ja vuonna 2004 vastaavasti 57 200 kpl. Itävallassa tarkkana yhteisenä määränä edellisille oli 12 227 kpl ja 28 023 kpl, teholuokan ollessa alle 100 kW. Saksan arviot ovat olleet noin 6 000–8 400 ja 25 500–29 000 kappaleen välillä. Suomen pelletillä toimivien keskuslämmityskattiloiden arviot ovat 730 ja 3 000 kpl kokoluokassa alle 100 kW (Tilastotietoja 2006a). Suomen tarkkaa laitteiden lukumäärä ei tiedetä, koska alan toimijat eivät ilmoita markkinaosuuksiaan (Tilastotietoja 2006b). Suomen luvut ovat alhaisia kaikkiin edellä mainittuihin maihin verraten. Pelletin käytössä olemme muuta Eurooppa jäljessä, mutta pelletin tuotannon osalta kuulumme Euroopan kärkeen.

Mielenkiintoa pellettilämmitystä kohtaan varmasti lisää valtioneuvoston 30.3.2006 tekemä päätös investointituen antamisesta talouksille, jotka muuttavat lämmitysjärjestelmiään asetuksen mukaisella, kasvihuonekaasupäästöjä vähentävällä tavalla. Avustuksia myönnetään yhteensä 14 miljoonaa euroa vuosien 2006–2008 aikana. Avustusta voivat saada pientalot, joissa on enintään kaksi asuinhuoneistoa, eli esimerkiksi omakoti- ja paritalot. Asetus tulee voimaan jo 5.4.2006. Tuen enimmäismäärä on 15 % pellettilämmityslaitteiden yhteydessä. Suunnitteilla on myös tuloverolain muutos siten, että kotitalousvähennystä voitaisiin hyödyntää investoinnin yhteydessä (Valtioneuvoston asetus 128/2006).

Itävallassa edellä mainitun kaltaista investointitukea on ollut saatavilla aikaisemmin. Yksityistalouksien lisäksi sitä ovat saaneet julkiset rakennukset. Tuki on ollut sidottuna laitteistojen ja asennuksen laatuun, jolloin kehitys on ollut nopeaa. Laitteille asetetut päästönormit sekä käyttäjien vaatimukset ovat olleet tiukat. Laadunvalvonta pellettivalmistuksessa on edesauttanut polttoaineen osalta käyttöönottoa ja osaa markkinointikampanjoita on tehty julkisin varoin (Lappalainen 2005). Suomeen on ollut vuodesta 2002 valmisteilla kaksi standardia pellettiä käyttäville polttimille ja tulisijoille, kummallekin omansa. Standardit määrittävät laitteet, vaatimukset laitteille, näiden testauksen ja merkinnän.

Pellettilämmitystä harkitsevalle kysymyksiä voi nousta esiin paljon. Alan kehitys on nopeaa ja tästä syystä tietoa on alettu jakaa eri tahoilta asiakkaille. Laitteistojen käytettävyydestä on vähän tutkittua tietoa, jolloin loppukäyttäjät vaihtavat kokemuksia ja mielipiteitä keskenään. Opinnäytetyössä olen pyrkinyt kokoamaan tietoa ja omia näkemyksiäni sekä kokemuksiani pellettilämmityksestä. Valmistajien osalta tekniikan kehitys turvaa käytettävyyden laitteille, jos polttoaine on laadultaan ja käytettävyydeltään riittävällä tasolla.

Työn tavoitteena oli saada vastaus tilaajan esittämiin kysymyksiin. Työssä selvitetiin tilaajalle keskeiset ongelmakohdat eri tilanteissa sekä mahdolliset ratkaisut näihin. Ennen testausta työn suorittajalle annettiin laitteiston käyttö- ja huoltokoulutus sekä käyttö- ja huolto-ohjeet, joiden toimivuutta mahdollisissa ongelmatilanteissa arvioitiin.

Keskeiset tutkimuskysymykset

1. Tulimax-pellettilämmitysjärjestelmän toiminnan luotettavuus
2. Tulimax-pellettilämmitysjärjestelmän tehon mittaaminen
3. Velmax-polttimen ohjausjärjestelmän toimivuus
4. Tulimax-pellettilämmitysjärjestelmän hoitaminen käyttäjän näkökulmasta: ”Onko käyttöohjeiden taso nykyisellään riittävä?”

3 PELLETTILÄMMITYSJÄRJESTELMÄN RAKENNE

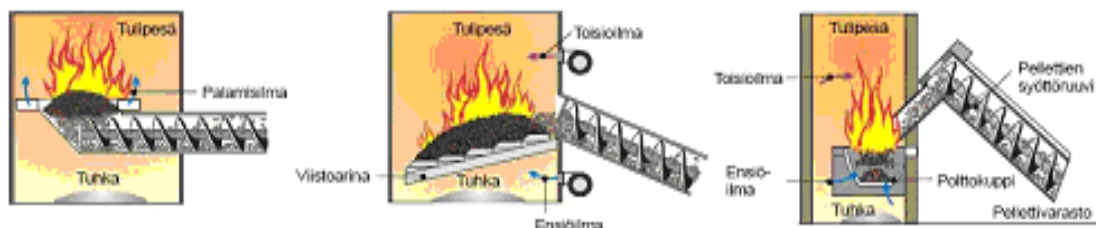
Pellettilämmitysjärjestelmä koostuu pellettivarastosta, siirtolaitteistosta, polttimesta, kattilasta sekä piipusta. Lisäksi on myös lämpöä tiloihin jakava lämmityspiiri ja mahdollisesti lämminvesivaraaja, josta energiaa voidaan ottaa käyttöön kulutushuippujen aikana. Markkinoilla on tällä hetkellä eri laitteilla useita valmistajia. Laitteista poltin ja kattila on luontevasti yhdistetty paketiksi useilla myyjillä ja valmistajalla, mutta tarjolla on myös kokonaisuuksia, alkaen siilosta päättyen piippuun.

Järjestelmää hankittaessa vaihtoehtoina on kokonaisuuden hankkiminen yhdeltä valmistajalta tai joidenkin tiettyjen osien hankkiminen eri valmistajilta, jolloin järjestelmän toimivuus ja yhteensopivuus jää enemmän tilaajan vastuulle. Ulospäin suuntautuvaa rahavirtaa voi pienentää omalla työllä, jos teknistä mielenkiintoa ja taitoa on riittävästi.

3.1 Poltin

Pohjoismaisessa pellettipoltinteknologiassa on lähdetty liikkeelle siitä, että poltin voidaan kytkeä jo ennestään olevaan kattilaan. Tällöin pienillä muutoksilla olemassa olevissa laitteissa voidaan hankintakustannuksia alentaa. Poltinta hankittaessa on kuitenkin valmistajalta varmistettava kattilan ja polttimen yhteensopivuus. (Kouki 2002, 27.) Pienimmät mahdolliset muutokset järjestelmässä ovat kattilan ja polttimen yhteensovittaminen.

Pienessä kokoluokassa pellettipolttimet voidaan jakaa pelletin syöttötavan perusteella kolmeen eri tyyppiin (KUVIO 1). Näitä ovat sivusyöttöinen, alasyöttöinen ja yläsyöttöinen. Joissain polttimissa tyypillisesti pitkää pellettiliekkiä saadaan lyhennettyä rakenneratkaisuin, jolloin poltin voidaan asentaa palotilaltaan pienempiin kattiloihin, kuten öljykattiloihin



KUVIO 1. Pellettipoltintyyppit: alasyöttöinen, sivusyöttöinen ja ripotteleva (kuvat VTT)

Alasyöttöisessä polttimessa syöttöruuvi painaa pelletin alakautta palopäähän, jossa palaminen tapahtuu. Ilma syötetään palotapahtumaan erillistä ilmakehää myöten. Poltin on varustettu sähkövastuksella, jolla kylmäkäynnistys voidaan suorittaa. Peruskäytössä on käytettävänä teho–tauko -jaksotus. Taukotilalla ylläpidetään hiillosta, jolla voidaan sytyttää tuli uudelleen lämpöä tarvittaessa. (Kouki 2002, 26–27.) Tuhka poistuu palopään reunojen ylitse tuhkatilaan. Sivusyöttöisessä ja ripottelevassa polttimessa palopäänä voidaan käyttää erilaisia ratkaisuja, jotka voivat käyttää teho–tauko -jaksotusta tai katkokäyttöä. Samanlaista syöttötapaa käyttävät laitteet voivat käyttää

erilaista polttoratkaisua. Sivusyöttöisessä liekki suunnataan vaakatasoon. Poltintyyppiä voidaan käyttää palotilaltaan pienemmissä kattiloissa. Putkimaisissa polttimissa käytetään katkokäyttöä. Palopään sisältävillä laitteilla käytetään teho–tauko-jaksotusta. Tuhka siirtyy palavan aineksen edessä pois pudoten tuhkatilaan tai se tulee poistaa käsin palopäästä.

Polttimen rakenteesta johtuen yläsyöttöisessä polttimessa liekki suuntautuu sivulle tai sivuttain ylöspäin. Palamisessa tarvittavaa pelletin määrää säännöstellään varastosta tulevalla ruuvilla, josta pelletit putoavat arinalle. Toimintaperiaatteena on katkokäyttö, jolloin lämpöä tarvittaessa pelletti sytytetään sähköisesti. (Kouki 2002, 26–27.)

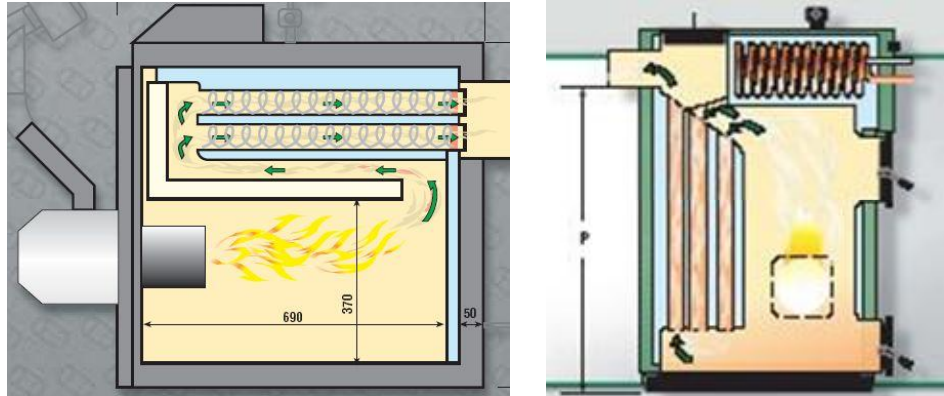
3.2 Kattila

Pelletti palaa pitkällä liekillä (ks. luku 4.). Tämän johdosta kattilalle asetetaan vaatimuksia, jotka on täytyttävä, jotta edellä mainitulla (ks. luku 3.1) polttimen vaihdolla päästäisiin hyvään tulokseen. Yleisesti suositellaan pellettipolttimen kanssa käytettävän puupohjaisten polttoaineiden käyttöön suunniteltuja kattiloita. Näissä on kiinnitetty huomiota kattilan helppoon puhdistettavuuteen lämmönsiirtopintojen ja tuhkatilan osalta. Tällöin jälkiasennuksena polttimen asennus voi olla kannattavaa. Mutta tilanteet ovat aina tapauskohtaisia.

Kattilana voidaan käyttää mahdollisesti myös ennestään olemassa ollutta alipaineöljykattilaa. Hyötysuhde voi kuitenkin jäädä huomattavan alhaiseksi ja nimellistehosta voidaan hyödyntää noin 70–80 % (Tuomi 2000, 4). Markkinoille on tullut myös ns. monienergiakattiloita, joissa on mahdollista käyttää esimerkiksi pilkettä, pellettiä sekä öljyä (Biomix 20 tuote-esite 2006).

Lämmönsiirtopintojen suuntauksen perusteella kattilat jaetaan vaaka- ja pystykonvektio-kattiloihin (KUVIO 2). Teholuokaltaan yhtenevät kattilat eroavat ulkomitoiltaan. Vaakakonvektiorakenteella saadaan pienennettyä kattilan fyysisiä ulkomittoja. Mitoitetaan pienempi kattila on mahdollista sijoittaa pohjapinta-alaltaan pienempään kattila-huoneeseen ja näin ollen se mahdollistaa joissain tapauksissa helpomman ja edulli-

semman jälkiasennuksen. Vaakakonvektion haittana on tuhkan kertyminen lämmönsiirtopintoihin, mikä alentaa hyötysuhdetta. Näin ollen kattila tarvitsee tiheämmin nuohousta kuin pystykonvektiokattila.



KUVIO 2. Vaaka- ja pystykonvektiokattilat (kuvat HT-Enerco)

Pystykonvektiokattilan tilantarve on suurempi, mutta etuna on pidempi huoltoväli, jota useat käyttäjät suosivat. Kattilat voivat olla rakenteeltaan päältä- tai sivustanuohottavia. Sivustanuohottavia kattiloita käytetään kokoluokassa >200 kW. Suomessa pystykonvektiokattilat ovat hankintakustannuksiltaan edullisempia.

Itävallassa kattiloihin on usein lisätty käyttöä helpottavaa tekniikkaa. Laitteet on usein varustettu automaattisella nuohouksella, jolloin huoltotyön osuus pienenee. Palamistapahtumaa ohjataan jäännöshappianturilla, ja polttoaineen syötössä käytetään hidasta, jatkuvaa polttoainevirtaa, jolloin päästöt saadaan alhaisiksi. Polttoteknologian lisäksi kattiloissa on lisätty värivaihtoehtoja ja panostettu muotoiluun (Alakangas & Tuomi 2001, 28). Suomessa näitä ominaisuuksia ei vielä ole totuttu käyttämään tai vaatimaan. Myös automaation hinta on voinut vaikuttaa näiden ominaisuuksien kysyntään.

3.3 Siirtimet

Pellettipolttimen automaattisen toiminnan edellytyksenä on tasainen pelletin syöttö polttimelle. Syötön tasaamisessa voidaan käyttää suppiloita ja välisiiloja (ks. luku 3.4). Erilaisia siirtotapoja käytettäessä tulisi aina päästä mahdollisimman lyhyeen siirtomatkaan, jolloin pelletin mekaaninen rasitus on vähäisempää ja mahdolliset hienoineksen aiheuttamat ongelmat jäisivät pois.

Pelletinsiirtolaitteistot tulee varustaa takapalon estävin ratkaisuin. Näitä ratkaisuja ovat esimerkiksi pystysuuntainen katko, jossa muovinen pudotusputki sulaa lämmön noustessa liian korkeaksi tai vesi, jonka syöttöä pelletin kuljettimeen säädetään lämmön tuntevalla AVTA-venttiilillä tai mehiläisvahatulpalla. AVTA-ohjattu vesi on paineistettua ja tulppaohjattu yleensä kanisterissa olevaa vettä. Vahatulpan toimintavarmuus heikkenee kovettumisen johdosta ajan myötä, jolloin paloturvallisuus heikkenee. Vesi on aiheuttanut takapalosuojauksessa tilanteita, joissa pelletin turpoaminen ruuvissa tai spiraalissa on jumiuttanut ja mahdollisesti rikkonut laitteita.

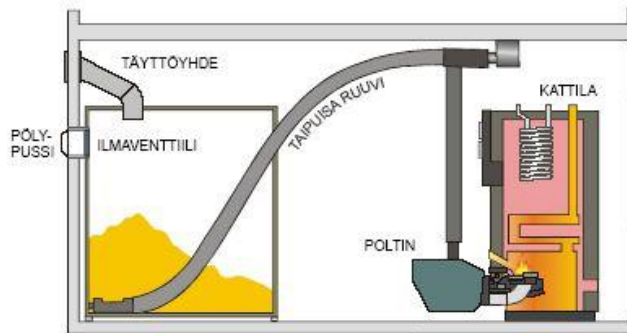
Takapalosuojauksessa voidaan käyttää myös hiilidioksidi- tai jauhesammuttimia, jolloin pelletin turpoamisriskiä ei ole. Sammuttimien toimintaa ohjataan lämpöantureilla, jotka lauettaessaan tyhjentävät sammuttimen sisällön syöttöputkeen. Suuri paine ja -tilavuusvirta voivat tästä huolimatta siirtää kipinän polttoainevarastoon, jos sen tiiveydestä ei ole huolehdittu.

Sammuttimien huollosta ja toiminnan tarkastamisesta on huolehdittava välittömästi takapalotilanteen jälkeen.

Spiraali

Spiraaliruuvi koostuu suojakuoresta, itse spiraalikierteestä ilman akselia ja tätä käyttävästä moottorista. Taipuisan spiraalin avulla pellettiä voidaan siirtää loivien mutkien kautta ilman välisuppiloita (KUVIO 3). Määrällisesti useampi mutka ja pidemmät siirtomatkat lisäävät spiraaliin kohdistuvaa rasitusta, jolloin käyttöikä voi alentua. Suojakuoren raaka-aineena käytetään suorissa spiraaleissa metallia ja taipuisissa muo-

via. Kierre valmistetaan metallitangosta tai -levystä. Yksinkertainen rakenne ja vähäinen osien määrä alentaa hankinta- ja korjauskustannuksia

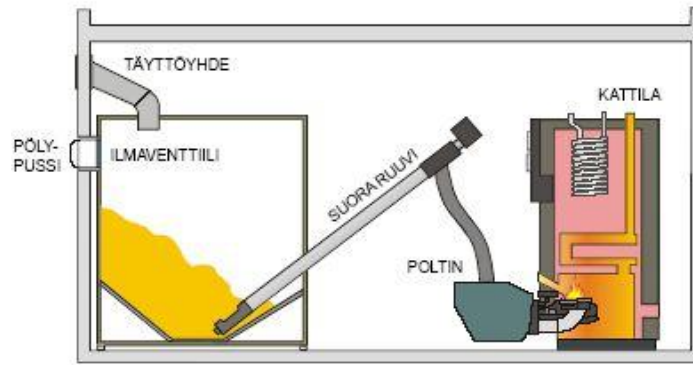


KUVIO 3. Spiraalin asennus (kuva VTT)

Spiraalin asennuskulmana suositellaan maksimissaan 45 asteen nousua, jotta pelletin syötön toimivuus saadaan taattua. Suoran läpiviennin kooksi riittää 100 mm. Käytännön testien perusteella spiraalin nostokyky on kuitenkin heikko. Asennuksen lisäksi toimintaan vaikuttaa suuresti spiraalin ohjaus. Liian suurella pyörimisnopeudella hienoaineksen osuus pelletissä kasvaa (Kallio & Kirjalainen 2004, 2).

Ruuvi

Siirtoruuvi koostuu suojakuoresta, akselin ympärille kierretystä ja hitsatusta kierreestä, sekä tätä käyttävästä moottorista. Ruuvi voi olla suora- tai hihnavetoinen. Jälkimmäistä käytetään yleensä pitkillä matkoilla ja voimaa vaativissa siirroissa. Jäykän rakenteensa johdosta ruuvilla tapahtuvat siirrot ovat aina suoria ja suunnanvaihto tehdään välisuppilolla tai -siilolla (KUVIO 4).

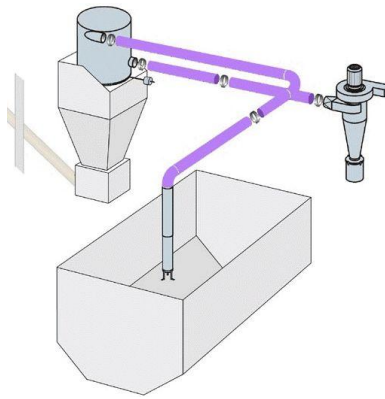


KUVIO 4. Ruuvin asennus (kuva VTT)

Ruuveja käytetään perinteisesti hakkeen tai muuta järeämpää siirtolaitteistoa tarvitsevan polttoaineen yhteydessä. Materiaali- ja työkustannuksien takia ruuvien hinta nousee spiraalia korkeammaksi. Pelletin nostossa ruuvilla voidaan käyttää 45 asteen tai jyrkempiä kulmia. Rakenteen johdosta sähköenergian kulutus ruuveilla on vastaavasti suurempi kuin spiraalilla. Tutkimusten mukaan ruuvilla pellettiä siirrettäessä hienon aineksen syntyminen on voimakkaampaa kuin spiraalilla (Kallio & Kirjalainen 2004, 2).

Pneumaattinen

Pneumaattinen pelletin siirrin on toteutettavissa monimutkaisempiin rakennelmiin helpommin kuin ruuvisiirtimet ja soveltuu näin ollen saneerauskohteisiin helpommin. Laitteistoa voi verrata keskuspölyimuriin. Laitteisto koostuu: imuriyksiköstä, jolla haluttu alipaine tuotetaan; putkistosta, jolla pelletti ja ilmavirta siirretään; erotinyksiköstä, jossa pelletti erotetaan ilmavirrasta (KUVIO 5); sekä mahdollisesti pelletin annostelijasta.



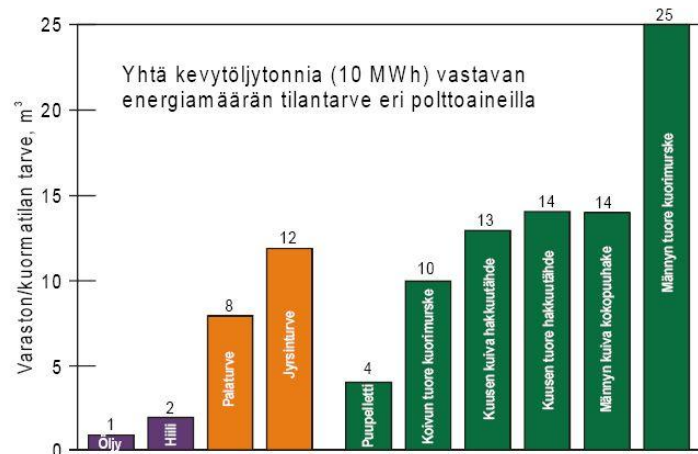
KUVIO 5. Pneumaattinen pelletinsiirtolaitteisto (kuva PIV Oy)

Pneumaattisessa pelletin siirrossa on kokeiltu suljettua ilmakiertoa, jolloin ilma ja pellettissä oleva pöly palautetaan pellettivarastoon. Tällä toiminnallisella ratkaisulla on päästy polttoainevaraston ympäristön ja kattilahuoneen osalta pölyttömään tilaan (Alakangas & Tuomi 2001, 14). Itävallassa ja Ruotsissa laitteistojen määrä on huomattavasti suurempi kuin Suomessa. Suomessa pneumaattisia siirtimien osuus on oletettavasti vähäinen ja tutkittua tietoa on niukalti.

3.4 Varasto

Pellettivaraston tulee olla kosteudelta suojaava. Kosteus saa aikaiseksi pellettissä turpoamisen ja pellettimäisen rakenteen rikkoutumisen. Kondenssiveden muodostumista ehkäisevillä ja suoran kontaktin veden kanssa estävillä rakenneratkaisuilla polttoaineen laatu varastossa saadaan pysymään hyvänä. Pelletit voidaan varastoida säkeissä, 20/500–1000 kg, tai irtotavarana eli bulkkina.

Polttoainevaraston tulisi olla riittävän suuri, jotta tarvittavat huolto ja korjaustoimenpiteet laitteille voidaan tarvittaessa suorittaa. Varastosta tulisi olla myös suora yhteys ulos (RT 52-10798 2003). Tilantarve puupelletillä on fossiilisia polttoaineita suurempi mutta muita puupolttoaineita pienempi (KUVIO 6).



KUVIO 6. Tilantarve-ero polttoaineilla (kuva Alakangas 2000, 149)

Varaston mitoituksen vaikuttavia asioita on paljon. Tapaukset ovat aina talo- tai paikakohtaisia, joten yksiselitteisten neuvojen tai ohjeitten antaminen on hankalaa. To-teutus on uudiskohteilla helpompi ja peruskorjauskohteilla kohteesta riippuen työ-läämpi. Olemassa olevien tilojen hyödyntäminen alentaa kertainvestoinnin suuruutta.

Sijoitus

Rakennustietosäätiön ohjetiedoston RT 52-10798 mukaan pellettivarasto tulisi sijoit-taa siten, että varastotilan ja kattilan välinen siirto jäisi mahdollisimman lyhyeksi, mutta myös siten, että täyttöyhteen ja siilon välinen matka olisi mahdollisimman ly-lyht. Varastoa tulisi päästä lähestymään mahdollisimman lähelle polttoainetta tuovalla ajoneuvolla, oli käytettävissä sitten irto- tai säkkitavara. Raskailla ajoneuvoilla pellet-tiä tuotaessa tulisi kiinnittää huomiota kaluston tarvitsemaan tilaan, käytettävän alueen pinnan kestävyyyteen ja kaltevuuteen. Lämpimillä renkailla lumeen pysähtymisen jäl-keen uudelleen liikenteeseen lähteminen voi olla ongelmallista kaltevilla alustoilla.

Suomen rakennusmääräyskokoelman E9 (1997) mukaan

EI 30 -luokkaisesti osastoituun kattilahuoneeseen saa sijoittaa enintään:

- 0,5 m³ kiinteää polttoainetta tiiviskantisessa erillisessä palamattomassa varastosiilossa.

EI 60 -luokkaisesti osastoidussa kattilahuoneessa saadaan varastoida edellä mainitut määrät tai:

- 0,5 m³ kiinteää polttoainetta tiiviskantisessa palamattomassa varastosiilossa ja varastopesässä yhteensä tai
- 2 m³ kiinteää polttoainetta kattilahuoneesta pölyn leviämistä estävällä seinällä erotetussa syöttöhuoneessa sijaitsevassa tiiviskantisessa palamattomassa varastosiilossa.

Määräysten tulkinnassa saattaa olla paikkakuntakohtaisia eroja.

Viikko-, välisiilo

Viikkosiiloa voidaan käyttää tapauksissa, joissa bulkin varastointimahdollisuutta ei ole ollut ja/tai käytetään säkkitavaraa. Siilo sijoitetaan yleisimmin kattilahuoneeseen ja on tilavuudeltaan pienempi kuin 0,5 m³. Täyttäminen tapahtuu käsin saavia tai sankoa hyödyntäen.

Välisiiloa käytetään pidemmistä siirtomatkoista johtuvien syötön epätarkkuuksien tasaajana. Tällöin siiloa täytetään siirtoruuvilla tai vastaavalla ja tyhjennetään nostoruuvilla, joka vie pelletin polttimeen. Ylitäytön estämiseksi siilo tulee olla varustettu pintavahdilla.

Irtosiilo

Irtotoimitettu pelletti varastoidaan varastosiiloon. Siilo voi olla mitoitettu siten, että siihen sopii kerralla koko kiinteistön tarvitsema polttoainemäärä vuodeksi tai siten, että täyttökertoja on useampia. Täyttökertojen myötä rahdin osuus kasvaa, jolloin pienempi investointi varastotilavuuteen voi tulla kokonaistaloudellisesti kalliimmaksi.

Irtotoimituserän minimikoko on noin 3 000 kg, jolloin tilavuuden pitää olla vähintään 7 m³. Metallisia irtosiiloja on saatavilla asennuspaketteina, joita voidaan laajentaa tarpeen mukaan. Siilojen verhoilu on myös mahdollista, jolloin maisemointi ympäristöön on paremmin toteutettavissa.

Itävallassa siilot ja kattilahuone on totuttu sijoittamaan rakennusten alle kellariin. Nykyään käytössä on maanalaisia siiloja, jotka ovat helposti maisemoitavissa, paloturvallisempia ja antavat sijoitukselle enemmän vaihtoehtoja. Materiaaleina käytetään yleisesti lasikuitua ja teräsbetonia (Alakangas & Tuomi 2001, 13).

Siilon voi tehdä myös itse. Rakenteissa tulisi käyttää kitkakertoimeltaan alhaisia materiaaleja, jolloin holvaantumisen riski on alhaisempi. Irtotavaraa käytettäessä siilon tulee olla pölytiivis. Poistoilmaputken halkaisijan tulee olla suurempi kuin täyttöyhteen. Puupellettilämmitys-ohjeen RT 52-10798 (2003) mukaan poistoilmaputken tulee olla sijoitettuna vähintään 500 mm etäisyydelle ja halkaisijaltaan vähintään 160 mm, kun täyttöyhteen halkaisija on 100 mm. Täyttöyhteen ja siilorakenteiden tulee olla maadoitettu, jottei staattista sähköä pääsisi syntymään.

Pellettisiilon täyttötilavuutta kokonaistilavuudesta vähentää täyttöhetkellä jäljellä oleva pelletti. Korkeampaa täyttöastetta voidaan edesauttaa siilossa sijaitsevan täyttöyhteen mahdollisimman korkealla sijoituksella, jolloin siilo täyttyy mahdollisimman tarkkaan. Siilon sisällä voidaan käyttää myös osittain halkaistua putkea. Halkaistu putki täyttää tilaa perältä alkaen, jolloin täyttöaste on korkeampi kuin ”ehjällä” putkella.

Täyttöputken vastaseinällä kannattaa käyttää vaimentimia, esimerkiksi kumista valmistettua mattoa. Pelletin iskua pehmennetään, jolloin pelletin rakenteen hajoamista törmäyksessä saadaan vähennettyä. Siilon pohjalle mahdollisesti kerääntynyt hienoa-aines kannattaa poistaa täytön yhteydessä, jotta ongelmia siilon ollessa täysi olisi vähemmän.

4 PELLETTIN OMINAISUUDET

Pellettiä valmistetaan useista eri materiaaleista eri käyttötarkoituksiin. Lämmityskäytössä yleisimpiä ovat puu- ja turvepelletti. Puulla palamiskäyttäytyminen on helpommin hallittavissa ja tuhkasisältö on alhaisempi ja soveltuu näin ollen pienille järjestelmille paremmin kuin turvepelletit.

Yleistä

Puupelletillä tarkoitetaan lieriön muotoista 6–12 mm läpimitaltaan sekä pituudeltaan 10–30 mm olevaa puristetta. Irtotiheys puupelletillä on yleisimmin 600–750 kg/m³ sekä tehollinen lämpöarvo saapumistilassa 14–17,5 MJ/kg. Puupelletti valmistetaan Suomessa puunjalostuksen sivutuotteena ja energiasisältönä käytetään 4,6–4,9 kWh/kg (Alakangas 2000, 76; Paju & Alakangas 2002, 9).

Alakankaan (2000, 35), kirjallisuudesta koostamien tietojen mukaan puun tärkeimmät rakenneaineet ovat ligniini, selluloosa ja hemiselluloosa. Aineiden osuudet vaihtelevat puulajeittain. Ligniini on puun sidos- ja rakenneaine, joka sisältää runsaasti lämpöä tuottavia hiiltä ja vetyä. Puupohjaisena polttoaineena pelletti on pitkäliekkinen. Polttoaineessa olevien haihtuvien aineiden määrä ratkaisee, kuinka pitkäliekkinen polttoaine on. Puulla aineiden osuus on 84–88 % kuiva-aineesta, kun esimerkiksi turpeella osuus vaihtelee 67,5–80 % välillä.

Pelletin valmistus tapahtuu puristamalla puupuru taso- tai reikämatriisin lävitse. Kitkan muodostaman lämmön vaikutuksesta puussa oleva ligniini muodostaa lieriön pintaan kovan kerroksen, jonka vaikutuksesta pelletti säilyttää lieriömäisen muotonsa. Havupuilla ligniinipitoisuus on suurempi kuin lehtipuilla, joten ne soveltuvat paremmin raaka-aineeksi. Pelletin valmistuksessa voidaan käyttää lisäsideaineita, joilla pelletin käsittelykestävyyttä voidaan parantaa. Yleisimmät ovat erilaiset tärkkelykset. Edellytyksenä lisäaineen käyttöön on sen vaikuttamattomuus palamiseen, mutta varjopuolena polttoaineen hinta nousee (Paju & Alakangas 2002, 29).

Kiinteiden biopolttoaineiden luokituksen, CEN/TS 14961:fi (2005), mukaan polttoaineet jaetaan eri luokkiin raaka-aineen alkuperän mukaan ja tällöin koko polttoaineketjun muodostuminen on oltava osoitettavissa. Puupelletti sijoittuu jalostettuihin puupuupolttoaineisiin ja edellyttää kemiallisesti käsittelemättömän kuorettoman puun käyttöä valmistuksessa. Näin ollen puupelletin valmistuksessa ei sallittaisi käyttää raaka-ainetta, johon sisältyy minkäänlaisia kemikaaleja.

Edellytyksenä pelletin valmistuksen kasvulle on tällaisen raaka-aineen saaminen markkinoille. Tällä hetkellä pelletin valmistuksessa käytetään sahoilta ja muusta mekaanisesta puunjalostuksesta tulevaa purua ja pölyä. Mikä on pelletin valmistuksen tulevaisuus, kun Suomessa sahaava teollisuus on useita vuosia toiminut tappiollisesti, ja metsäverotuksen siirtymäkausi on takana. Kansainvälinen kauppa sahatavaralla synnyttää hintapaineita puunostajille, mutta puun myyjät eivät tähän suhtaudu suopeasti. Onko lähellä se aika, jolloin jalostamattomasta puusta tehdään suoraan pellettiä?

Polttoaineen analysointi

Jotta polttoaineen laatua voitaisiin valvoa tai tarkastella, on oltava olemassa tietyt säännöt, joiden mukaan toimitaan. Itävallassa on vuodesta 1998 asti ollut käytössä Ö NORM 7135, jossa on määritelty laatuluokat puu- ja kuoripelleteille. Tätä normia on täydennetty vuonna 2000 käsittelykestävyyden osalta (Alakangas & Tuomi 2001). Kehitteillä on yleiseurooppalainen laatustandardi, jossa määritellään pelletille laatuluokitukset. Valmistelu on aloitettu vuoden 2000 keväällä.

Puupolttoaineilla tuhkapitoisuus vaihtelee riippuen materiaalista josta se on valmistettu. Puhtaasta runkopuusta valmistetulla polttoaineella kuiva-aineen tuhkapitoisuus on 0,5_p-% luokkaa (Alakangas 2000, 37). Tuhkapitoisuus voidaan todentaa teknisen spesifikaation CEN/TS 14775:fi (2004) mukaan kaavalla:

$$A_d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \times \frac{100}{100 - M_{ad}}$$

, jossa

m_1 on tyhjän astian paino

m_2 on astian sekä testausnäytteen massa grammoina

m_3 on astian sekä näytteen tuhkan massa

M_{ad} on määrittämiseen käytetyn testausnäytteen kosteuspitoisuus -%.

Tulos ilmoitetaan kahden rinnakkaismäärittelyn keskiarvona pyöristäen lähimpään 0,1 % arvoon.

Kosteus voidaan määrittää teknisen spesifikaation CEN/TS 14774-1:fi (2004) mukaan kaavalla:

$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_3) - (m_4 - m_5) + m_6}{(m_2 - m_1)} \times 100$$

jossa

m_1 on tyhjän astian paino grammoina

m_2 on astian ja näytteen paino grammoina ennen kuivausta

m_3 on astian ja näytteen paino grammoina kuivauksen jälkeen

m_4 on vertailuastian ja näytteen paino grammoina ennen kuivausta (paino huoneen lämmössä)

m_5 on vertailuastian ja näytteen paino grammoina kuivauksen jälkeen (paino kuumana)

m_6 on sitoutuneen kosteuden määrä grammoina.

Tulos lasketaan kahden desimaalin tarkkuudella ja pyöristetään lähimpään 0,1 % raportointia varten.

Testissä käytetty pelletti

Testeissä käytettiin Vapon valmistamaa, suursäkeissä ostettua, läpimitaltaan 6 ja 8 mm olevaa puupellettiä. Läpimitaltaan 8 mm pelletit ostettiin Saarijärven Agrimarketista, josta säkit haettiin henkilöauton peräkärreillä. Läpimitaltaan 6 mm pelletti toimitettiin rahtina Bioenergiakeskukseen. Testeissä oli tarkoitus käyttää verrokkina Keurakin valmistamaa 8 mm puupellettiä. Testin suoritushetkellä koko tuotanto oli myyty, minkä seurauksena testissä käytettiin pelkästään Vapon pellettiä.

Testeissä käytettävästä pelletistä otettiin näytteitä, jotka analysoitiin. Näytteet koostettiin laitteiston pudotusputkesta, koska edustavien näytteiden kerääminen suursäkistä ei olisi ollut mahdollista lajittumisen vuoksi. Näytteet analysoitiin edellä mainittujen, käytössä olevien, esistandardien mukaan.

Hienoaineksen osuus määritettiin näyte-erästä 3,15 millimetrin kudotulla terässeulalla. Hienoaineksen osuus punnittiin 0,01 gramman tarkkuudella. Näytteen kokonaismassaa verrattiin näytteen seulottuun, läpimitaltaan alle 3,15 mm osuuteen, jolloin saatiin hienoaineksen osuus. (ks. TAULUKKO 1)

TAULUKKO 1. Testissä käytetyn pelletin ominaisuuksia

Ø 8 mm	Ø 6 mm	Kosteus %	Tuhkapitoisuus %	Ø< 3,15 mm, p-%
X		9,2	0,7	1,9
X		9,1	0,6	1,1
X		9,0	0,3	0,3
X		8,9	0,3	0,3
X		8,8	0,5	0,1
X		8,8	0,5	0,1
X		8,7	0,5	0,4
	X	10,3	0,5	0,3
	X	9,8	0,5	0,4
	X	8,2	0,5	0,4
	X	5,9	0,4	0,3
	X	5,7	0,4	0,9
Keskiarvo 8 mm		8,9	0,5	0,6
Keskiarvo 6 mm		8,0	0,5	0,5

Pelletin ominaisuuksissa pysyttiin pääsääntöisesti valmistajan ilmoittamissa raja-arvoissa. Kosteuden tulisi olla alle 10 % tuontikosteudessa, hienoaineksen osuuden massasta alle 1 % sekä tuhkapitoisuuden 0,4 %.

Hienoaineksen määrä erissä saattoi kasvaa hieman johtuen mekaanisesta rasituksesta siirtolaitteistossa. On kuitenkin otettava huomioon, että toimitettu pelletti siirrettiin käsin suursäkistä välisäiliöön. Tällöin mekaanista rasitusta tapahtuu huomattavasti vähemmän kuin esimerkiksi käytettäessä irtotavaraa, joka toimitetaan puhaltamalla siiloon. Alhaisesta hienoainespitoisuudesta huolimatta käsin pellettiä siirrettäessä puupölyä kertyy ympäristöön. Visuaalisesti todeten puupölyn määrä oli huomattavasti alhaisempi 6 mm:n pelletillä kuin 8 mm:n pelletillä. Testin perusteella läpimitaltaan 6 mm:n puupelletti on käytettävyydeltään parempaa käsin täytettäessä ja hengityssuojainten käyttö pelletin käsittelyssä on suositeltavaa.

5 TESTIT

Alkuperäisen suunnitelman mukaisesti testit tuli suorittaa joulutammikuussa ja opinnäytetyön tuli olla valmis viikolla 11. Testin aloitusajankohta siirtyi laitevalmistajan kiireistä johtuen myöhempään ajankohtaan siten, että laitteisto oli asennettuna viikolla 2 ja testaus ajoittui tammi–maaliskuun ajalle. Testausta häiritsi tuona aikana kylmä sää, minkä johdosta toiminta jouduttiin keskeyttämään välillä. Näistä johtuen työn lopullinen valmistuminen siirtyi viikolle 19. Testit jaettiin neljään jaksoon (LIITE 2). Jaksolla yksi haettiin asetuksia ja perustoimintaa järjestelmälle (LIITE 7). Jaksolla kaksi toteutettiin häiriötestit sekä jaksoilla 3 ja 4 pitkäaikaistestit. Välitarkastukset pidettiin kerran kuukaudessa. Tapaamisissa tarkasteltiin saatuja tuloksia sekä tarkennettiin tutkimuskysymyksiä.

Käytettynä laitteistona testissä oli Tulimax^{PEL}20, joka koostui Velmax-polttimesta, sekä Tulimax-kattilasta. Pelletti syötettiin polttimelle spiraali-kuljettimella tilavuudeltaan 300 litraisesta välisäiliöstä (KUVIO 7). Lämmityslaitteisto asennettiin Saarijärven Bioenergiakeskuksessa sijaitsevaan testikonttiin, jossa laitteistolla voitiin ajaa tasaisella kuormalla pidempiä ajanjaksoja.



KUVIO 7. Testauslaitteisto

Laitteiston asennuksessa noudatettiin mahdollisimman tarkkaan suositeltua omakotitalon asennustapaa. Tällöin mahdollisten ongelmatilanteiden aiheuttajaa voitiin verrata omakotitaloasujan tilanteeseen. Laitteistolla testiä suoritettaessa käytettiin eri ohjelmaversioita, joiden toimivuutta seurattiin. Testin aikana mitattiin kattilan ja polttimen kriittisten paikkojen pintalämpötiloja, jotka dokumentoitiin lämpökamerakuvauksella.

5.1 Häiriötesti

Laitteistolle simuloitiin toiminnan aikana häiriöitä, jotka voisivat olla mahdollisia loppukäyttäjällä. Laitteiston toimintaa seurattiin häiriön synnystä sen vikailmoitukseen sekä tämän jälkeen järjestelmän sammumiseen tai vastaavaan tilanteeseen, jossa toiminta oli pysähtynyt. Järjestelmän toimintaa verrattiin käyttö- ja ohjekirjasten toiminnan kuvauksiin sekä arvioitiin ohjeitten toimivuutta vastaavissa tilanteissa loppukäyttäjällä.

Laitteistoon tehtiin häiriöt lämmitysjakson aikana. Jatkuvana tehokuormana häiriötestijaksolla käytettiin noin 20 kW. Vuorokautinen häiriötilanteiden simuloinnin välinen aika hyödynnettiin laitteiston toiminnan testaamiseen. Tänä aikana päästöarvoja ei mitattu. Jokainen simuloitava häiriö toistettiin neljä–viisi kertaa, häiriön luonteesta

riippuen. Ohjausjärjestelmän toimintaa häiriötilanteessa seurattiin ja tapahtumat dokumentoitiin. Simuloitavat häiriöt olivat:

- ylikuumenemisen laukeaminen,
- valosilmän vaurio,
- lämpötila-anturin vaurio,
- syöttöruuvien työtila jää päälle,
- puhaltimen pysähtyminen.

Laitteiston toimintaa verrattiin ohjainversion osalta sen ohjeitten kuvaukseen, sekä polttimeen ohjeitten osalta omiinsa. Mittaustulokset ovat liitteissä 4 ja 8.

5.2 Pitkäaikaistesti

Testi koostui kahdesta testijaksosta. Jaksojen aikana polttoaine, sekä jatkuva tehokuorma vaihtelivat. Jaksolla kolme laitteistoa ajettiin neljä vuorokautta nimellistehoa 20 kW vastaavalla kuormalla. Jakso neljä jakautui kahteen erilliseen testivaiheeseen. Kuorman säätäminen tapahtui nelitieventtiilillä, jonka säätöarvo todettiin lämmityspiirissä olevalla lämpömittarilla. Lämpötilaltaan yhdenmukaisilla pelliteillä käytettiin samoja säätöarvoja eri tehokuormilla.

1. Testijakso 3

- Tehokuorma 20 kW, polttoaine Vapo 8 mm

2. Testijakso 4

- Vaihe 1

- Tehokuorma 10 kW, polttoaine Vapo 8 mm
- Tehokuorma 10 kW, polttoaine Vapo 6 mm

- Vaihe 2
 - Tehokuorma 5 kW, polttoaine Vapo 6 mm
 - Tehokuorma 5 kW, polttoaine Vapo 8 mm.

Testauksen aikana seurattiin ja dokumentoitiin testin olosuhteita. Laitteiston toimintaa seurattiin päivittäin, mahdollisimman yhdenmukaiseen aikaan, jolloin vuorokautinen muutos pystyttiin osoittamaan. Aloitustilanteessa suoritettiin lähtötasomittaus, jolla selvitettiin puhtaan laitteiston suoritusarvot.

Mittaukset suoritettiin Testo 300 M -savukaasuanalysaattorilla, joka oli varustettu jatkuvatoimisella tiedonkeräämislaitteistolla sekä NO-lisäominaisuuksilla (LIITE 1). Tietojen tallennuksessa käytettiin Teston ohjelmaversiota 2,51. Savukaasuista mitattavia suureita olivat jäännöshappi (O_2), yli-ilmakerroin (λ), savukaasun lämpötila ($^{\circ}C$), typen oksidit (NO_x), hiilidioksidi (CO_2), häkä (CO), veto (hPa) sekä hyötysuhde (%). Tietoa kerätessä tallennussyklinä käytettiin 20 kW tehokuormalla 60 sekuntia, 10 kW tehokuormalla 30 sekuntia sekä 5 kW tehokuormalla 10 sekuntia. Koostettu tieto käsiteltiin Microsoft Windows Excel-taulukkolaskentaohjelmalla.

Edellä mainittujen mittaustapahtumien lisäksi laitteistosta määritettiin testaushetkellä pintalämpötiloja eri kohdissa sekä seurattiin ulko- ja kattilahuoneen lämpötilaa (LIITE 5). Tämän lisäksi laitteistosta kuvattiin testijakson 4 aikana kriittisiä pintalämpötiloja simuloidussa häiriötilanteessa ja normaalin toiminnan aikana lämpökameralla (LIITE 4). Laitteiston toimintaa kuvattiin noin 5 minuutin välein. Kuvauksissa kamerana käytettiin Flir Systems ThermoCAM 560:sta. Lämpökamerakuvat toimitettiin työn tilaajalle testin jälkeen. Testiviikon päätteeksi laitteistolle suoritettiin lopputarkastus, jossa selvitettiin tuhkan muodostumista, muotoa ja määrää eri kohtiin laitteistoa.

Kerättyjen tietojen ja analysoitujen tulosten perusteella löydettiin laitteistolle kehittämiskohteita sekä kysymyksiä, jotka vaativat jatkotutkimuksia. Osa saaduista tuloksista johti välittömiin toimenpiteisiin. Työn toteuttamisen aikana ei ehditty tutkimaan näiden toimenpiteiden vaikutuksia. Testijakson aikana saadut tarkat tulokset ja tarkat analysoinnit esitetään liitteissä 5, 6, 9 ja 10.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kevään aikana tullut valtioneuvoston päätös investointituesta uusiutuvan energian osalta lisännee omakotitaloihin tarkoitettujen pellettilämmitysjärjestelmien myyntiä. Helppouteen ja mukavuuteen tottuneiden ihmisten saaminen pellettilämmittäjiksi luo valmistajille vaatimuksia, tähän haasteeseen laitetoimittajien on pystyttävä vastaamaan kohtuullisessa ajassa. Jos investointitukea odottaessa ihmiset siirsivät investointiaan, on mahdollista, että he voivat panostaa tuen verran enemmän laitteisiin ja varusteisiin tulevaisuudessa, mikäli tuet riittävät.

Laitteistolla suoritettujen testien perusteella pellettilämmitysjärjestelmän käyttö on helppoa. Laitteiston säätöjen ollessa kohdallaan päästään hyvään hyötysuhteeseen sekä mataliin päästöarvoihin. Pelletillä lämmittäminen vaatii omaa viitseliäisyyttä enemmän kuin fossiilisilla polttoaineilla toimivat lämmitysmuodot, mutta työllistää huomattavasti vähemmän kuin polttopuukäyttöinen keskuslämmitys. Toimiakseen laitteiden tulee olla asennettu oikein ja käyttäjälle on annettu riittävä koulutus tai materiaali itseopiskelua varten. Käyttöohjeiden ollessa riittävän kattavat kaikille tilanteille neuvoa tarvitsee kysyä harvoin. Tilanteissa, joissa käyttöohjeen tai käyttäjän tiedot eivät riitä, tulisi saada tuotetukea laitevalmistajalta tai -asentajalta.

Itselläni ei ollut pellettilämmityksestä kokemusta aikaisemmin, tästä huolimatta Tuli-max-pellettilämmitysjärjestelmän käyttäminen oli testin aikana helppoa. Polttimeen ohjausyksikkö oli käytettävyydeltään ja käyttöohjeiltaan hyvä. Lämmitysjärjestelmän käyttö- ja huolto-ohjeista löydettiin puutteita, joihin ehdotettiin parantavia korjauksia. Suuntaa antava laitteiston säätäminen onnistuu ilman savukaasuanalysaattoria piipun väreilyä seuraamalla, mutta parhaaseen palamiseen päästäkseen analysaattorin käyttöä voi suositella. Lämmitysjärjestelmän toimintavarmuuteen vaikuttavat olennaisesti oikeat säädöt ja oikea asennus. Tästä syystä järjestelmille koulutetaan osaavia asentajia.

Pellettilämmitysjärjestelmällä pystyttiin vastaavaan nimellistehoa vastaavaan teho-kuormaan. Testissä 20 kW kuormalla pyrittiin simuloimaan tilannetta, jossa energiantarve on suuri pidemmän aikaa. Tällaisia yhtäaikaista kulutuksia olisivat esimerkiksi kylmän sään aikaan tapahtuva rakennuksen lämmitys ja suuri lämpimän veden käyttö. Tehokuormilla 10 ja 5 kW simuloitiin ajanjaksoja, jolloin energian kulutus on pientä.

Testauksen siirtymisen johdosta teoriaosuuden tiedon hankintaan jäi alkuperäistä enemmän aikaa. Oman teoreettisen tietämyksen kerryttämisen kannalta työn toteutuksen siirtyminen ei haitannut. Työssä pystyttiin selvittämään järjestelmän käyttäytymistä pitkäaikaisessa toiminnassa sekä häiriötilanteissa ja näin ollen tuomaan uutta tietoa tilaajalle ulkopuolisen käyttäjän näkökulmasta. Työn haastavuutta lisäsivät vaihtelevat sääolosuhteet, jotka vaikuttivat mittaavien laitteiden toimintaan, ja testejä jouduttiin keskeyttämään tästä syystä. Haastavuutta lisäsi myös testattavan laitteiston kehittyminen testijaksojen aikana ja välillä. Tutkimus oli antoisa juuri tältä osin, koska oli mahdollista seurata kehitystä mahdollisimman läheltä. Käytännön tutkimuksen suorittamisen tunnen omalla kohdalla onnistuneen kohtuullisesti. Mittauksien osalta parempaan lopputulokseen olisi ollut mahdollista päästä olosuhteiltaan tasaisemmassa testausympäristössä.

Testausta suunniteltaessa työn tilaajan taholta toimitettiin selkeät tutkimuskysymykset ja alustava testauksen runko, joiden perusteella tutkimuksen toteuttamiselle oli hyvät lähtökohdat. Tutkimuksen aikana pidettiin välitarkastuksia joissa esitettiin saatuja tuloksia ja täsmennettiin tutkimuskysymyksiä. Koen omalla kohdallani välitarkastuksien yhteydessä, sekä näiden välisenä aikana, saamani ohjauksen riittäväksi kaikkien osapuolien taholta. Testien toteutuksessa pysyttiin aikataulussa, jolloin eri osapuolten tavoitteet saavutettiin.

Saamani kokemuksen perusteella voisin omalla kohdallani valita pellettilämmitysjärjestelmän omakotitaloon. Haja-asutusalueilla on usein sähkökatkoja joiden kestot voivat olla pitkiä. Itse varmistaisin tällaisia tilanteita varten järjestelmän mahdollisesti pienen generaattorin käyttömahdollisuudella tai ainakin talossa olisi tulisija, jolla peruslämpö turvataisiin. Joka tapauksessa laitteiston tulee olla varustettuna hälytysjärjestelmällä, joka toimii sähkökatkosta huolimatta, jolloin häiriön tapahtuessa voidaan

suorittaa tarvittavat toimenpiteet. Pellettilämmitysjärjestelmää valittaessa ja käytettäessä tulee miettiä tilanteet, joissa itse ei olisi toimintahäiriötä poistamassa. Tällöin olisi hyvä, että naapureiden tai muuten tuttavien kesken voitaisiin suorittaa häiriökuitaukset ja turvata toiminta lämmityskauden aikana.

LÄHTEET

Alakangas, E. 2000 Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT tiedotteita 2045. Helsinki: Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT)

Alakangas, E. & Tuomi, S. 2002 Pellettien tuotanto ja käyttö Itävallassa. OPET matkaraportti 2/2001. 6.–11. marraskuuta 2001. Jyväskylä: Valtion teknillinen tutkimuskeskus & Työtehoseura

Biomix 20 tuote-esite. 2006. Ariterm Oy:n sivusto Viitattu 28.3.2006.
<http://www.ariterm.fi/>, tiedostot

CEN/TS 14774-1:fi. 2004. Kiinteät biopolttoaineet. Kosteuspitoisuuden määrittämis menetelmät. Uunikuivausmenetelmä. Osa 1: kokonaiskosteus vertailumenetelmä. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Standardi julkistettu 1.8.2004. Viitattu 24.3.2006. <http://sales.sfs.fi>, sopimuksen julkaisut.

CEN/TS 14775:fi. 2004. Kiinteät biopolttoaineet. Tuhkapitoisuuden määrittämis menetelmä. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Standardi julkistettu 1.8.2004. Viitattu 24.3.2006. <http://sales.sfs.fi>, sopimuksen julkaisut.

CEN/TS 14961:fi. 2005. Kiinteät biopolttoaineet, polttoaineen laatuvaatimukset ja – luokat. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Standardi julkistettu 1.3.2005. Viitattu 24.3.2006. <http://sales.sfs.fi>, sopimuksen julkaisut.

Hulkkonen, S. & Rautanen, J. 2006 Puupolttoaineen pienlämmitysjärjestelmien standardointi ja sertifiointi Kirjallisuusselvitys Motiva Viitattu 31.3.2006
<http://www.motiva.fi> ohjelmat, käynnissä, julkaisut

Fischer, J. 2005. Marktentwicklung von Holzpellets und Pelletheizungen. Viitattu 27.03.2006 http://www.depv.de/download/Pelletsmarkt_2005_10.pdf

Kallio, M. & Kirjalainen, T. 2004. Pellettien ja hakkeen syöttötekniikat. Jyväskylä: Tekes.

Kattilahuoneiden ja polttoainevarastojen paloturvallisuus. 1997. Suomen rakentamismääräyskokoelma E9. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Kouki, J. 2002. Pellettipolttimet tutkittavina. Teho 1, 26–28. Forssa: TTS

Lappalainen, I. 2005. Uusiutuvan energian näkymiä Euroopassa. Energia 24.5.2005, 24.

Paju, P. & Alakangas, E. 2002. Puupellettien tuotanto-, jakelu- ja polttotekniikka. Jyväskylä: OPET Finland.

Pakkanen, S. 2005 Vapo kasvaa päästökaupasta huolimatta. Tekniikka&Talous 29.9.2005, 22.

RT 52-10798. 2003. Puupellettilämmitys. LVI 11-10361 Ohjetiedosto kesäkuu 2003. RTS 2003.

Tilastotietoja 2006a. Viitattu 27.03.2006 Pelletcentre
<http://www.pelletcentre.info/CMS/site.asp?p=878>

Tilastotietoja 2006b. Viitattu 27.3.2006. Pellettienergia.fi
<http://www.pellettienergia.fi/?lang=1&pv=50&av=30&pg=teksti&id=110>

Tuomi, S. 2000 Puulämmitys pelleteillä Työtehoseuran metsätiedote 4/2000 (617)
Helsinki: Työtehoseura

Valtioneuvoston asetus 128/2006. Pientaloille avustusta lämmitysjärjestelmän muutokseen. Julkaistu 30.3.2006. Viitattu 2.4.2006. <http://www.ymparisto.fi> Ympäristöministeriö, ajankohtaista, tiedotteet, tiedotteet 2006

Liite 1. Testeissä käytetyn mittarin Testo 300 M tiedot

Tekniset tiedot:

- O₂: Mittausalue: 0...21%
- O₂ Tarkkuus: $\pm 2\%$ O₂
- Erottelutarkkuus: 0,1%

CO₂ (laskennallinen):

- Tarkkuus: $\pm 0,2\%$ CO₂

CO:

- Mittausalue: 0... 8000 ppm
- CO Tarkkuus: ± 1 lkm / $\pm 5\%$ tuloks. (401... 2000 ppm), $\pm 10\%$ tuloks. (2001... 8000 ppm),
- ± 20 ppm (0... 400 ppm)
- Erottelutarkkuus: 1 ppm CO

Lämpötila (K-tyyppi):

- Mittausalue: -40... +1200°C
- Tarkkuus: $\pm 0,5^\circ\text{C}$ (0...99,9°C), $\pm 0,5\%$ (+100...+1200°C)
- Erottelutarkkuus: 0,1 °C

Paine, Paine-ero ja vetomittaus:

- Mittausalue: -80... +80 hPa
- Tarkkuus: ± 1 lkm $\pm 0,03$ hPa (-80... +80 hPa)
- Erottelutarkkuus: 0,01 hPa

NO:

- Mittausalue: 0... 8000 ppm
- Tarkkuus: ± 1 lkm $\pm 5\%$ tuloks. (100.1... 2000 ppm), $\pm 10\%$ tuloks. (2000.1... 3000 ppm),
- ± 5 ppm (0... 100 ppm)
- Erottelutarkkuus: 1 ppm

Liite 2. Testin aikataulu 2006

[illegible]

Liite 3. Käyttöohjeet

SALAINEN 10.4.2011

Käyttöohjeet

Pellettipolttimen käyttö- ja huolto-ohjeissa on hyvä ”pellettilämmityksen perusteet” -osio, jossa kerrotaan seikkaperäisesti perusratkaisusta pellettilämmityksessä. Ohjeissa on viittaukset tarvittaviin määräyksiin paloturvallisuuden osalta sekä kerrotaan mitoituksesta kattilahuoneelle.

Ohjeet tulisi päivittää sisällöltään nykyiselle ohjainversiolle. Tulostetussa ohjeessa olleet kuvat olivat mielestäni epäselvät ja kuvavalintaa tulisi miettiä. Kuvien vieressä ollut ohjeistus oli hyvä lisäys. Polttimen leikkauskuva lisäisi toiminnan ja rakenteen ymmärrystä. Tämän selitteestä ilmenisivät eri toimintavaiheiden tapahtumat, sekä missä palotapahtuman tulisi olla.

Ohjeissa oli viittauksia numeroilla ohjainpaneelin säätöpotentiometreihin. Rakenteellisesti ohjeessa kuvan olisi hyvä olla samalla sivulla, tai ainakin viittaus sivulle josta tieto ko. kohtaan löytyisi.

Käyttöohjeet koskivat poltinta. Onko olemassa erikseen ohjeet kattilalle? Ohjeissa voisi olla maininta mahdollisesta kattilan suojakytkimestä, joka katkaisee ohjaimelle menevän virran suojarajan ylittäessään. Tämä tilanne tuli itselläni vastaan ja aiheutti hetken mietintää.

Eri käyttöhäiriöistä on maininta, mutta selitteitä vian etsimiseksi ja mahdolliselle korjaukselle ei ole. Ohjeessa on maininta korjauksen suorittajan pätevyydestä, jonka perusteella on vaikea pelkästään sanoa mitä Matti Meikäläinen voisi itse tehdä. Vika-kaavion avulla ongelmatilanteissa voisi löytää paremmin mahdollisen vian, sekä päättää onko vika itse korjattavissa, vai ottaako yhteyttä jälleenmyyjään tai valtuutettuun korjaajaan.

Käyttöohjeissa turvallisuusnäkökohtaan on panostettava lisää. Olisiko mahdollista toimittaa asiakkaalle kattilan/polttimen tilauksen yhteydessä etukäteen käyttö- ja huolto-ohjeet?

Ohjainkortti ja ohjainversiot

Ohjainkortin sijoitus seinällä oli käyttäjäystävällinen, koska kyykistymisiä tarvitsi tehdä ainoastaan poltinta huollettaessa tai palotilaan katsoessa. Käytettävyys tämän osalta on parantunut.

Ohjelmaversion kehittyessä ominaisuuksia on tullut lisää. Ominaisuuksien lisääminen ei ole vaikeuttanut laitteiston käyttöä. Toimintakaaviosta ilmeni eri tilanteet. Sanallinen kuvaus tuki kaaviokuvaa ja näin ollen mielestäni ei tarvitsisi muutoksia. Mahdollisesti ohjelmasta johtuneet käyttöhäiriöt ovat vähenneet ohjelmiston kehittymisen myötä. Näitä häiriöitä ovat olleet liekin sammumiset tilanteissa, joissa rakenteellista tai toiminnallisesti muuta syytä ei ole löydetty.

Liite 4. Lämpökamerakuvaus

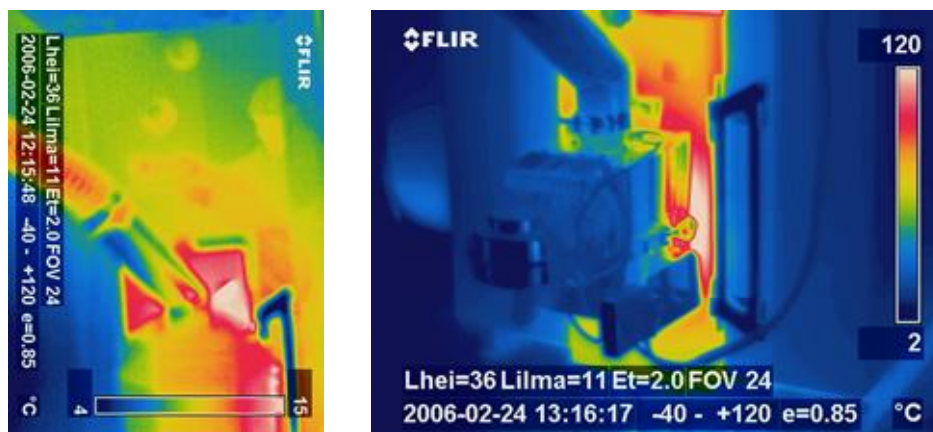
SALAINEN 10.4.2011

Lämpökamerakuvaus

Lämpökamerakuvauksen avulla voidaan kartoittaa suuria sekä pieniä lämpötilaeroja. Käytetyimmät kohteet ovat erilaiset rakenteet, joista paikallistetaan lämpö-, tai kylmävuotoja. Näin ollen kameralla voidaan kartoittaa myös kattilassa tai polttimessa olevia pintalämpötiloja.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan kuvia oli tarkoitus ottaa mahdollisimman monelta sivulta, jotta mahdolliset lämpövuodot voitaisiin todeta. Laitteiston sijoitus kontissa kuitenkin rajasi kuvauksen kattilan etuseinämään, jossa poltin on kiinni. Lämpökameralla yritettiin ottaa kuvia vinosti kattilan kyljistä, mutta kameran mittaava säde heijastui kattilasta, jolloin mittaus ei ollut luotettavaa.

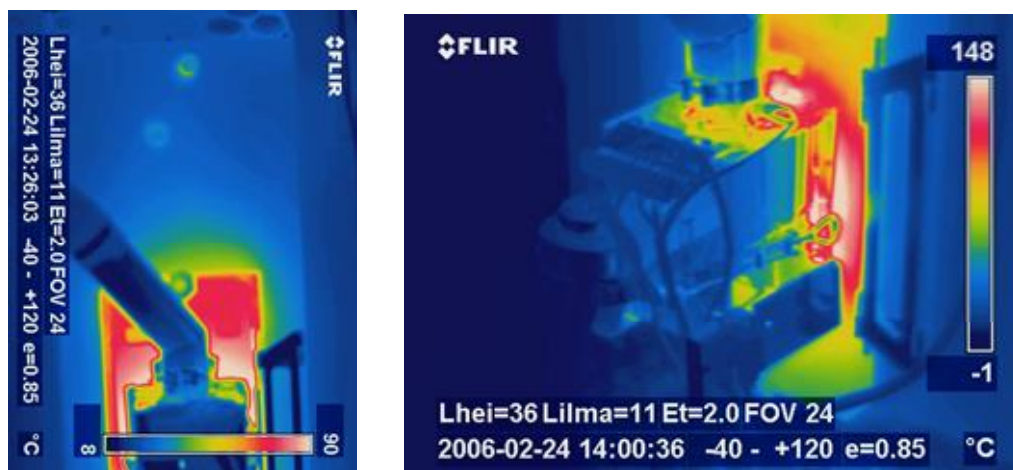
Lämpökamerakuvaus aloitettiin kattilaveden lämpötilan ollessa 14 °C (KUVIO 8). Laitteistolla ajettiin tästä lämpötilasta kattilan tavoitelämpöarvoon 80 °C. Kuvia otettiin noin 5 minuutin välein.



KUVIO 8. Lämpökamerakuvat normaalin käynnin aloitus- ja lopetus-tilanteessa

Lämpötilojen kehittyminen oli nopeinta poltinluukun ympäristössä, jossa lämpötila nousi korkeimmillaan noin 120 °C:een. Polttimen suojakuoren lämpötilat pysyivät alhaisina (15–40 °C) kauttaaltaan testin aikana. Lämmön johtuminen pelletin pudotusputkeen normaalin käynnin aikana on vähäistä.

Laitteistolle simuloitiin puhaltimen häiriö, jonka seurauksena lämpötila polttimella alkoi nousemaan (KUVIO 2). Lämpökamerakuvaus aloitettiin kattilaveden lämpötilan ollessa 75 °C. Laitteistolla ajettiin tästä lämpötilasta kattilan tavoitelämpöarvoon 80 °C, jonka jälkeen puhaltimen virtapiiri katkaistiin. Kuvia otettiin noin 5 minuutin välein.



KUVIO 9. Lämpökamerakuvat häiriötilanteen aloitus- ja lopetustilanteissa

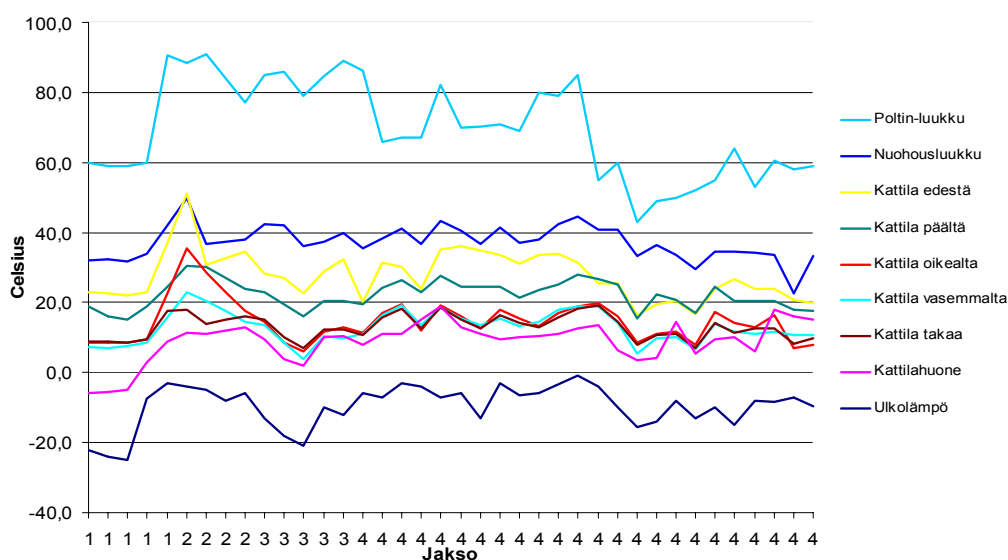
Häiriötilanteessa on huomattavissa lämmön siirtymistä kattilan poltinluukulta poltinrunkoon. Poltinrungon alaosassa oleva pohjalevy lämpenee korkeimmilla 80–90 asteeseen, mikä yllä olevassa kuvassa näkyy vaaleanvihreänä. Ylilämpösuojan laukeamisen jälkeen pelletinpudotusputken ympäristössä kuvattiin korkeimmillaan 100–120 asteen lämpötilat. Laitteiston lämpötila korkeimmillaan oli noin 145–150 astetta. Korkeimmat lämpötilat olivat poltinluukussa. Häiriötilanteesta ei otettu kuvaa kotelon kanssa lopputilanteessa, koska kontin alhainen lattian lämpötila oli ehtinyt jäähdyttää kotelon.

Liite 5. Yleisiä mittaustuloksia

SALAINEN 10.4.2011

Lämpötilat

Laitteiston lämpötiloja seurattiin kauttaaltaan läpi testijaksojen. Kattilan sivujen pinta-
lämpötilojen mittaukset suoritettiin sivun keskeltä. Kattilan etuseinämän lämpötilaa
seurattiin käyttövesikierukan kohdalta, sekä päältä mitattu lämpötila mitattiin nelitie-
venttiilin vierestä. Nuohousluukun lämpötila todennettiin myös keskeltä. Poltinluukun
lämpötilaa seurattiin sen yläosasta, liekki-ikkunan välittömästä läheisyydestä (KUVIO
10).

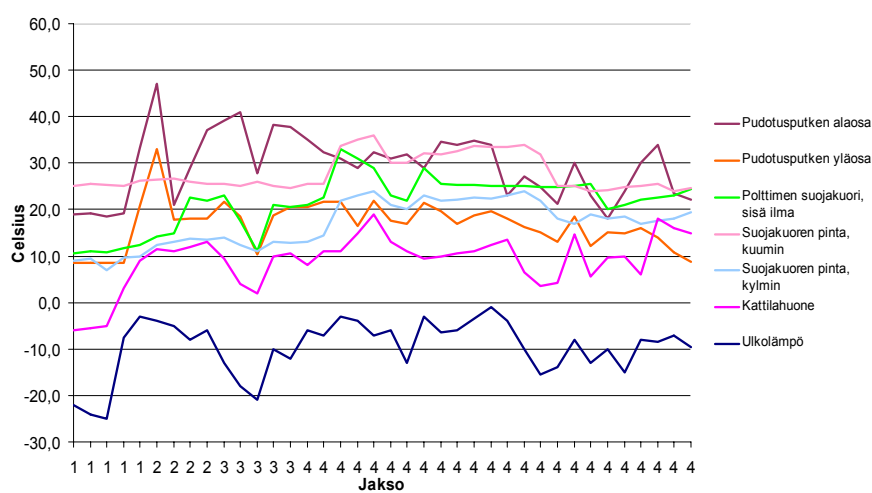


KUVIO 10. Kattilan pintalämpötilat

Normaalissa käynnissä ollessaan kattilan pintalämpötilat eivät ylitä 50 °C, poikkeuk-
sena poltinluukku. Lämpötilat seurasivat ulko- ja kattilahuoneen lämpötilojen muu-
toksia. Kattilan etu- ja päällyslämpötilat ovat 10–20 °C korkeammalla, kuin kattilan
muiden seinämien lämmöt, joten näistä säteilyhäviö on suurin. Testijakson 4 aikana
tehokuorman pienentyessä on havaittavissa eri osien lämpötilan aleneminen. Tämä
johtuu laitteiston käyntiajan lyhenemisestä, jolloin eri osat eivät ole ehtineet lämpiä-

mään.

Poltinkotelon ja sen osien lämpötiloja seurattiin samaan aikaan kattilan kanssa. Polttimeen suojakuoresta mitattiin pintalämpötilan kylmin ja kuumin kohta. Pudotusputken lämpötilaa seurattiin alaosan taitteen/mutkan kohdalta ja yläosasta, noin 5 cm putken päästä alaspäin. Polttimeen käyttämän ilman lämpötilaa seurattiin savukaasuanalysaattorin sondilla puhaltimen ilmanotosta (KUVIO 11).

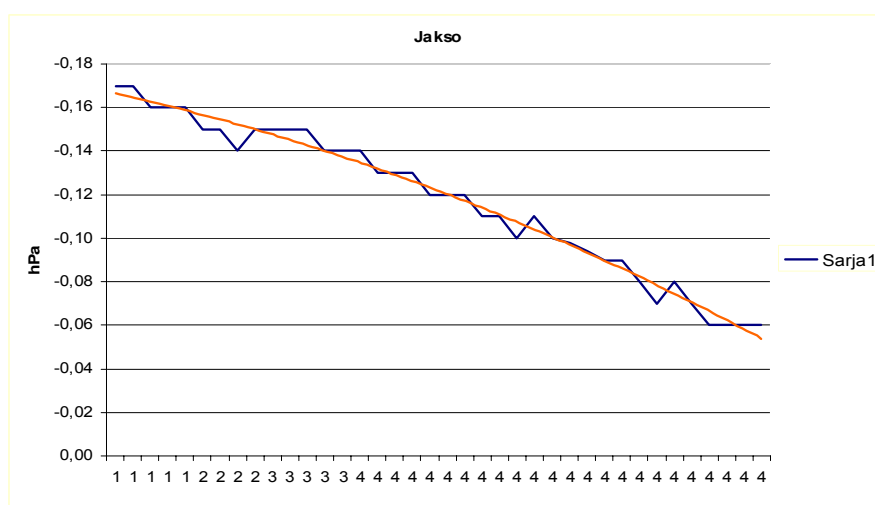


KUVIO 11. Polttimeen eri osien lämpötilat

Pudotusputken pintalämpötilassa on havaittavissa nousua, kun polttimella on jouduttu ajamaan kylmissä olosuhteissa. Merikontin eristämättömyyden vuoksi ulkolämpötilan vaikutus kontin sisälämpötilaan on merkittävä. Olosuhteiden normalisoimiseksi polttimeen käyttämää ilmaa esilämmitettiin 3,3 kW sähköpuhaltimella testin aikana. Esilämmityksen vaikutuksesta kestoproovin aikana testijaksolla 4 lämpötila on saatu pysymään 20–30 °C välillä, mikä vastaa kattilahuoneen lämpötilaa.

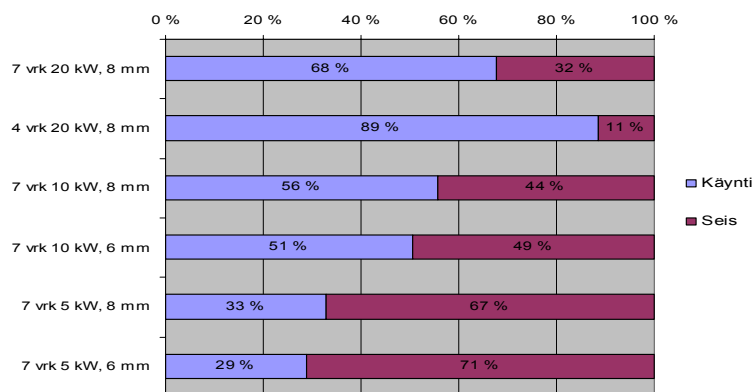
Pudotusputken lämpötilan vaihtelut johtuvat uskoakseni palotapahtuman sijainnin vaihtelusta, sekä siitä missä vaiheessa käyntijaksoa mittaus suoritettiin. Normaalin käymisen aikana lämpötilat laitteistossa eivät ole nousseet korkeiksi, joten ihokontaktin tapahtuessa ei palamisen riskiä ole.

Vedon muutosta seurattiin päivittäin testijaksojen aikana (KUVIO 12). Vedon määrää mitattiin kattilan ja piipun välissä olevan savukaasukanavan keskeltä laitteiston toiminnan aikana. Testien aikana veto on laskenut alun -0,17 hPa paineesta lopun -0,06 hPa paineeseen. Jaksoilla 1–3 vedon heikentyminen on ollut hitaampaa kuin muilla testijaksoilla. Testijaksolla 4 jatkuvan tehokuorman ollessa 10 kW vedon heikentyminen on ollut hitaampaa kuin 5 kW tehokuormalla. Yleensä veto heikkenee kaikissa järjestelmissä ulkolämpötilan noustessa. Lämpötilaeron pienentyessä kattila-huoneen ja ulkolämmön välillä veto alenee, mihin on voinut vaikuttaa myös piippuun kertynyt tuhka.



KUVIO 12. Veto eri testijaksoilla

Eri tehokuormilla ajettaessa käynti- ja taukojaksojen ajallinen suhde muuttui kuvion 13 mukaisesti.



KUVIO 13. Käynti- ja seisonajaksojen jakautuminen kokonaisajasta

Käytettäessä polttoaineena 6 mm pellettiä käyntijakson pituus on ollut tehokuormilla lyhyempi kuin 8 mm pelletillä. Testijaksolla 1 käyntiajan osuus on ollut 68 % kokonaisajasta, joka on tulokseltaan eriävä testijakson 3 kanssa (89 %). Lämpöä hukkaavaan piiriin haettiin säätöarvoja kyseisellä viikolla, jolloin todellinen jatkuva tehokuorma on ollut pienempi.

Pienillä tehokuormilla syttymis- ja sammumisprosessien osuus kokonaiskäyntiajasta suurenee. Tällöin nokeavaa ja vähällä hapella tapahtuvaa palamista on suhteellisesti enemmän. Laitteistojen puhtaana pysymiseksi palotapahtuma tulisikin saada mahdollisimman vähäpäästöiseksi palamattomien komponenttien osalta. Sytytysvaiheessa oikeankokoisella alkupanoksella, sekä ilmamäärällä voidaan vaikuttaa tähän.

Kokonaishyötysuhde

Kokonaishyötysuhteella tässä testissä tarkoitetaan sitä hyötysuhdetta, joka on saatu laskemalla käytetyn pelletin energiasisältö, sekä vertaamalla sitä energiamäärämittarin lukemaan. Pelletin energiasisältönä on käytetty valmistajan ilmoittamaa 4,6 kWh/kg ja punnitsemistarkkuutena on käytetty 0,5 kg. Energiamäärämittarista todennetun arvon tarkkuutena on käytetty 1 kWh.

Savukaasuanalysaattorilla määritetty hyötysuhde on paloprosessin aikaisten palamiskaasujen muodostama hyötysuhde, jonka tulisi olla pienempi kuin kokonaishyötysuhteen, koska energiaa poistuu tämän lisäksi myös johtumis- ja säteilyhäviöinä. Näihin lukeutuu kattilan eri pinnoilta ja lämminvesiputkista poistuva energia ennen lämpö-

määrämittarin antureita sekä tuhkassa oleva palamaton aine. Tuhkan häviön määrä pystytään todentamaan hehkuttamalla edustava näyte tuhkasta, jolloin massan ja kosteuden kautta voidaan määrittää palamattoman aineksen osuus. Laskennassa voidaan käyttää kaavaa:

$$A_d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \times \frac{100}{100 - M_{ad}}$$

, jossa

m_1 on tyhjän astian paino

m_2 on astian, sekä testausnäytteen massa grammoina

m_3 on astian, sekä näytteen tuhkan massa

M_{ad} on määrittämiseen käytetyn testausnäytteen kosteuspitoisuus %

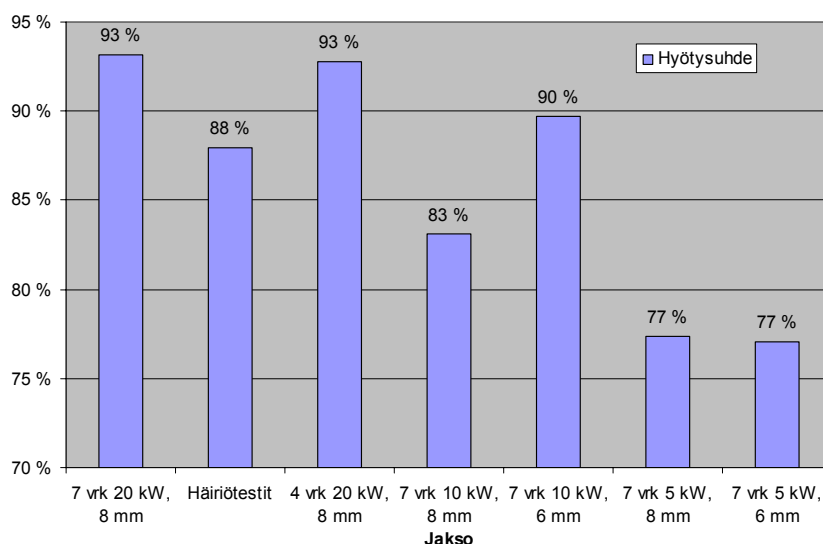
Tuloksena saadaan tuhkassa olevan palamattoman aineksen osuus. Tällöin voidaan laskea 100 % - palamaton pitoisuus %, jolloin saadaan tuhkan hiilipitoisuus. Palamaton aines jakautuu aineeseen joka ei pala ja aineeseen joka ei ole palanut. Määrittely ja määrittely eivät ole standardoituja. Palamattoman aineksen osuus tuhkassa sekä sen aiheuttama energiahäviö¹ eri testijaksoilla:

- 10 kW 8 mm 70,2 %
 - häviö ~0,5 %
- 10 kW 6 mm 76,7 %
 - häviö < 0,5 %
- 5 kW 6 mm 68,2 %

¹ Huhtinen, M. & Alan. 1997. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Opetushallitus

- häviö ~ 0,5 %
- 5 kW 8 mm 54 %
- häviö ~ 0,7 %

Osasta testijaksoja kokonaishyötysuhde on ollut hyvin korkea (KUVIO 14). Saatuihin korkeisiin arvoihin tulee suhtautua skeptisesti. Oravaisen (2003)² suorittamien testien perusteella **3 tunnin pituisessa** ja nimellisteho 20 kW käyttävällä pellettipolttimella voidaan päästä kokonaishyötysuhteeseen 87 – 91 % jäännöshapen ollessa 6,69–7,23 O₂ %. On huomioitava että ko. testiä suoritettaessa kattilana on käytetty HT Enerco Oy:n Tulimax STK 50 Vario –kattilaa, jonka nimellisteho on 50 kW. Kun nyt suoritetussa testissä on käytetty HT Enerco Oy:n Tulimax^{PEL}20 –kattilaa. Oletettavasti kattiloiden lämmönsiirtopintojen tehokkuudessa on tällöin eroa suuremman eduksi.



KUVIO 14. Kokonaishyötysuhteet eri jaksoilla

Savukaasuanalysaattorilla mitaten jakson 3 (4 vrk 20 kW) hyötysuhde on ollut alhaisempi kuin kokonaishyötysuhde (LIITE 9). Johtopäätöksenä kokonaishyötysuhde ei tältä osin voi pitää paikkaansa. Muita nimellistehoja vastaavia tehokuormia ei mitattu

² Oravainen, H. 2003 Puupellettien laadun vaikutus palamistulokseen. Projektiraportti TEKES, Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT²

analysaattorilla, jolloin kokonaishyötysuhteita ei verrannollisesti voida todistaa.

Kokonaishyötysuhde on ollut oikeellisempi testijakson 4 aikana, koska analysaattorilla todennettu hyötysuhde on ollut korkeampi kuin kokonaishyötysuhde (LIITE 4).

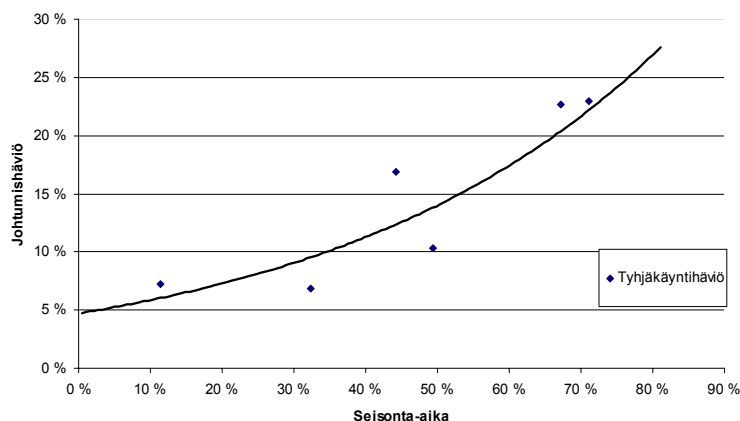
Tyhjäkäyntihäviö

Energiamääramittarilla todennettu kokonaishyötysuhde sisältää tyhjäkäyntihäviön.

Terminologisesti häviöllä tarkoitetaan kaikkea sitä häviötä, joka tapahtuu laitteiston ollessa sammunut. Tähän luetaan mukaan luonnonvedon aiheuttaman johtumishäviön lisäksi myös muita johtumishäviöitä. Häviön määrittämien on erittäin hankalaa, koska muuttujia on paljon.

Tarkan arvon saamiseksi dataa pitäisi koostaa useista lähteistä tiheällä taajuudella.

Pelkästään luonnonvedon aiheuttaman häviön laskemiseksi tulisi selvittää ilman kosteus, lämpötila ennen ja jälkeen laitteiden, sekä tilavuusvirta, joka riippuu kulloinkin olevasta vedosta. Vedon voimakkuuteen taas vaikuttaa piipun halkaisija ja pituus sekä vallitseva ilmanpaine. Häviö voidaan määrittää, mutta sen vertausarvo muihin kohteisiin olisi heikko, koska vaikuttimia on useita. Jonkinlaista, suuntaa antavaa tietoa voidaan kerryttää myös tehden testejä eri tehokuormilla, jolloin edellä mainitunlaisesti käynti- ja seisona-ajat muuttuvat. Osakuormilla ajettaessa kokonaishyötysuhteen laskiessa erilaisten johtumishäviöiden osuus kasvaa. Oletuksena häviö on suurempi nuohotulla kuin nuohoamattomalla kattilalla, tuhkan eristävän vaikutuksen johdosta. Johtumishäviöiden osuus kasvaa laitteiston seisona-ajan mukaan. Johtumishäviön määrittämiseksi jokaisen testin aikana tallentunutta polttimeen kokonaiskäyntiaikaa verrattiin ko. testin johtumishäviöihin (KUVIO 15). Häviöiden osuus määritettiin energiamääramittarin ja käytetyn polttoaineen energiasuhteen kautta. Tällöin johtumishäviöiden osuus on käytetyn polttoaineen energiasisällöstä vähennettynä kokonaishyötysuhde. Kerätyn datan perusteella ei voida kuitenkaan tehdä vahvoja johtopäätöksiä. Tutkimusta tulisikin jatkaa tältä osin, jos häviöstä haluttaisiin lisää tietoa.



KUVIO 15. Johtumishäviöt seisonta-ajan funktiona

Jos tyhjäkäyntihäviö kasvaa edellä mainitun kaltaisesti, ovat häviöt kohtuullisen suuria. Jatkuvalla 5 kW tehokuormalla häviö asettui 20–25 % välille. Ei voida kuitenkaan olettaa että jatkuva tehon tarve olisi yhtä suuri loppukäyttäjällä, koska energiaa varataan veteen, josta se käytetään tarvittaessa. Oletettavasti tällöin pellettilämmitysjärjestelmän seisonta-aika on testin aikoja suurempi ja häviön osuus lisääntyy.

Tyhjäkäyntihäviön osuutta voitaisiin pienentää sulkemalla piippu pellillä, jolloin ilmavirta pysähtyisi. Ratkaisu ei kuitenkaan ole helppo, koska palamattomasta aineksesta laitteiston sammumisen jälkeen muodostuu häkää, joka on hajuton, väritön ja ihmiselle vaarallinen kaasu.

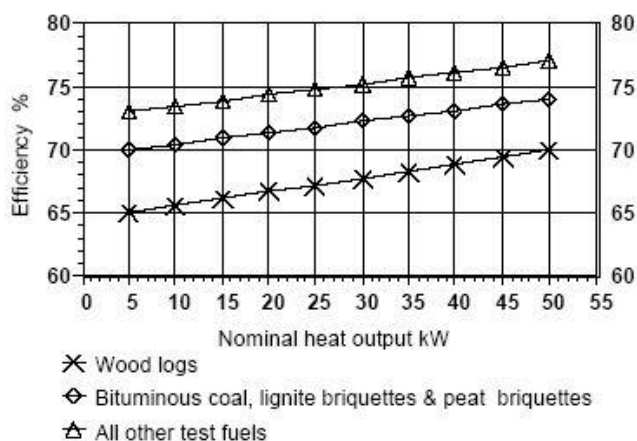
Teoreettisina ratkaisuin voitaisiin soveltaen käyttää savukaasupuhallinta tai vedon tasaajaa. Savukaasupuhaltimen pyörintänopeus säädettäisiin mahdollisimman alhaiseksi, jolloin riittävä ilmavirta kattilan lävitse saavutettaisiin häkävaaran välttämiseksi. Vedontasaajaa käytetään tuulisissa olosuhteissa, esimerkiksi saaristossa, joissa tuulenpuuskat aiheuttavat häiriöitä polttimelle. Tasaaja sijoitetaan rakennuksen ulkopuolelle piippuun. Vedon kasvaessa yli asetetun raja-arvon laite ohjaa ohivirtausilmaa piippuun, jolloin paineen vaihtelu tasaantuu kattilassa. Yhdistämällä normaalin ja pakotetun osittaisen ohivirtaustoiminnan, tyhjäkäyntihäviötä voitaisiin osittain alentaa.

Liite 6. Keskeiset johtopäätökset

SALAINEN 10.4.2011

Kattilan testaus ja päästöarvot

EN 12809:2001 standardi³ on hyväksytty Suomessa kansallisesti. Siinä määritetään vaatimukset ja testausmenetelmät teholuokaltaan alle 50 kW keskuslämmityskattiloille. Standardissa ei käsitellä erikseen poltinta. Testausta suoritettaessa olosuhteiden tulee olla vakioituja. Standardissa on annettu teholuokittain vaatimustasot hyötysuhteelle, jotka riippuvat käytetystä polttoaineesta. Kahden erillisen testin tuloksien tulee olla vaatimustason ylittävät ja näiden välinen ero ei saa ylittää 10 %. Pellettiä käytettäessä nimellisteholtaan 20 kW laitteistolla tulisi päästä noin 74 % hyötysuhteeseen (KUVIO 16).



KUVIO 16. Hyötysuhdevaatimukset eri polttoaineilla teholuokittain (kuva standardista EN 12809:2001)

³ SFS-EN 12809 2001. Residential independent boilers fired by solid fuel – Nominal output up to 50 kW – Requirements and test methods. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Standardi vahvistettu 31.12.2002. Viitattu 24.3.2006. [Http://sales.sfs.fi](http://sales.sfs.fi), sopimuksen julkaisut.

Edellytyksiä hyväksytylle hyötysuhteelle ovat riittävä veto, jonka suuruus riippuu käytettävän laitteiston nimellistehosta, sekä riittävän alhainen hiilimonoksidi-pitoisuus, joka todennetaan jäännöshapen (O_2) ollessa 13 %. Häkä-arvoille on kolme eri luokkaa päästön suuruudesta riippuen.

1. luokka $\leq 0,3 \text{ \%} = 3\,000 \text{ ppm}$
2. luokka $> 0,3 \leq 0,8 \text{ \%} = 3\,000 \leq 8\,000 \text{ ppm}$
3. $> 0,8 \leq 1,0 \text{ \%} = 8\,000 \leq 10\,000 \text{ ppm}$.

Standardissa ei anneta päästöarvoja muille komponenteille, mutta todetaan että maittain eroavaisuuksia voi olla.

Tämän hetkinen tilanne

Euroopassa kattiloiden testaukseen on annettu vapaaehtoinen SFS-EN 303-5 standardi, jossa on määritelty pienkattiloille asetettavat vaatimukset ja testausmenetelmät. Useat Euroopan maat ovat laatineet omaan käyttöönsä tätä tiukemmat kansalliset standardit. Tiukempia vaatimuksia päästöjen osalta käyttävät ainakin Tanska, Itävalta, Ruotsi ja Saksa. Ruotsissa kyseisen standardin pohjalta on laadittu myöskin vapaaehtoinen P-merkintä, joka on yhdessä teollisuuden kanssa luotu maksullinen ja vapaaehtoinen sertifiointijärjestelmä. P-merkintä on saatavilla pellettipolttimille ja pellettikattiloille, sekä pellettikamiinoille. Merkintä asettaa vaatimuksia tuotteelle ja sen testausmenetelmille (Hulkkonen & Rautanen 2006)⁴. Tämän standardin lisäksi eri maissa on käytettävissä erilaisia ympäristömerkkejä, joiden myöntämisen perusteella on valmistajille ollut saavana tukia.

Päästörajojen vertailua vaikeuttaa eri maissa ja lähteissä käytetyt yksiköt, sekä se että asetetun arvon saavuttaakseen tulee käyttää eri jäännöshappiarvoja. Itävallassa on ollut käytössä seuraavat rajoitukset eri komponenteille jäännöshapen ollessa 13 %.

⁴ Hulkkonen, S. & Rautanen, J. 2006 Puupolttoaineen pienlämmitysjärjestelmien standardointi ja sertifiointi Kirjallisuusselvitys Motiva [Viitattu 31.3.2006] <http://www.motiva.fi> ohjelmat, käynnissä, julkaisut

- CO 500 mg/MJ tai 750 mg/MJ 30 % osateholla
- NO_x 150 mg/MJ
- OGC 40 mg/MJ
- Hiukkaset 60 mg/MJ.

Itävallassa ja Tanskassa päästöille on annettu raja-arvot nimellis- ja 30 % osateholle. Käsisyöttöisillä laitteilla nämä ovat väljemmät. Itävallassa automaattisella syötöllä varustetuilla laitteilla tulee päästä hyötysuhteeseen 76 % ja vastaavasti teholuokassa yli 200 kW vähintään 86 prosenttiin. Tanskassa hyötysuhteiden tulee olla 75–84 % kokoluokassa alle 200 kW ja 84 prosenttia tämän ylittäessään. Päästörajat ovat 10 % jäännöshappiarvoilla:

- CO 0,5 % nimellis- ja 30 % osateholla
- Hiukkaset 300 mg/m³n.

Tanskan raja-arvot mahdollistavat myynnin Saksaan. Heidän edellyttämien rajojen vaatimukset täyttyvät, jolloin tuen saaminen investoijalle on mahdollista (Hulkkonen & Rautanen 2006).

Valmisteilla

CENTTC 57 komitea valmistelee tällä hetkellä pienille (alle 70 kW) teholuokassa oleville pellettipolttimille **prEN 15270: Pellettipolttimet pieniin lämmityskattiloihin - Pellet burners for small heating boilers - definitions, requirements, testing and marking** -standardia, jossa vaatimuksia on asetettu hiilimonoksidille (CO) välillä 1 000–15 000 mg/m³n (10 % O₂), orgaanisille kaasumaisille komponenteille (OGC) välillä 75–1 750 mg/m³n ja pölylle välillä 68–200 mg/m³n. Tuhkan palamattomien komponenttien osuuden on oltava alle 50 %. Standardia on valmisteltu siten että se koskisi polttimia, jotka liitettäisiin edellä mainitun EN 303-5 -standardin mukaisiin

kattiloihin, ja joissa käytettäisiin (prCEN/TS 14961) mukaisia pellettejä. Standardia ei ole vielä vahvistettu, joten sisältö saattaa muuttua (Hulkkonen & Rautanen 2006)⁵.

Testin tuloksia - NO_x

Poltossa vapautuvien typenoksidien määrä riippuu eniten polttoaineen sisältämästä tyydestä (Alakangas 2000, 36)⁶. Vastaavilla polttotekniikoilla kuorta sisältävästä polttoaineesta vapautuu näin ollen enemmän typen oksideja sen sisältämän korkeamman pitoisuuden johdosta. Palamislämpötilan noustessa typenoksidien muodostuminen lisääntyy. Lisäämällä ilman syöttöä ja näin ollen jäähdyttämällä palamista, voidaan vaikuttaa typenoksidien muodostumiseen (Hohle 2001, 241–242)⁷. Vastaavasti savukaasujen lämpötila nousee tällöin korkeammaksi, koska lämmön siirtymisen aika kaasupartikkelia kohden on vähäisempi.

Testejä suoritettaessa NO_x:en muodostumisen osalta ei löydetty eri jaksojen välillä muuta yhteneväisyyttä kuin hieman korkeampi pitoisuus 6 mm pelletillä. Eri jaksoilla hypoteesina voidaan pitää tällöin korkeampaa palamislämpötilaa. Arvot nousivat ja laskivat hieman eri testijaksoilla, mutta yleisesti katsoen pysyivät pitoisuudessa alle 120 ppm. Graafiset esitykset pitoisuuksille on ilmoitettu kulloisenkin testijakson omassa osiossaan (LIITTEET 9 ja 10).

Testin tuloksia - CO

Häkä-pitoisuuksiin voidaan vaikuttaa ensiö- ja toisiopalamisilman suhteella. Riittävällä toisioilman määrällä palaminen on puhdasta. Polttimessa ei kuitenkaan ole tälle säädölle mahdollisuutta, jolloin CO -pitoisuus on vaikeammin hallittavissa. Liian alhaisella happimäärällä (2–6 %) arvot nousevat korkeiksi, koska palamiseen ei ole riittävästi happea käytettävissä. Korkeilla happiarvoilla (yli 10 %) palamiseen olisi happea käytettävissä, mutta ilmaseoksen palamista jäähdyttävä vaikutus kasvaa tällöin suuremmaksi. Palamisesta tulee vajaata, koska ilman viipymäaika kattilassa on lyhyt

⁵ Hulkkonen, S. & Rautanen, J. 2006 Puupolttoaineen pienlämmitysjärjestelmien standardointi ja sertifiointi Kirjallisuusselvitys Motiva [Viitattu 31.3.2006] <http://www.motiva.fi> ohjelmat, käynnissä, julkaistut

⁶ Alakangas, E. 2000 Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT tiedotteita 2045. Helsinki: Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT)

⁷ Hohle, E.E. 2001. Bioenergi-miljø, teknikk og marked Energigården 2001: Brandbu, Norge

(Hohle 2001, 241–245)⁸. Tällöin savukaasun lämpötila kasvaa ja hyötysuhde alenee. Palamisen aikana tapahtuva ilmareikien tukkeutuminen voi vaikuttaa nousevasti päästöihin pidemmällä aikavälillä. Tämän vuoksi arinaputken ilmareiät tulee taa huolellisesti jokaisen nuohouksen yhteydessä. Toisioilman reiät tukkeutuivat polttokokeissa. (KUVIO 17).



KUVIO 17. Poltinputken ilmareiät tukossa

On huomioitava, että hyväksytyn arvon saamiseksi standardeissa on määritetty jäännöshapen arvot 10 ja 13 % maasta riippuen, jolla on saavutettava riittävän alhainen tulos päästöjen ja riittävän korkea tulos hyötysuhteen osalta. Tavoitearvona häkäpäästöissä pidetään pitoisuutta alle 100 CO ppm eli 0,01 %. Laitteistolla syntyi tätä suurempia häkäpäästöjä kautta testijaksojen, kun jäännöshappi oli 8–10 % välillä.

Syttymis- ja sammumis-tilanteissa häkäarvot ovat suurimpia. Testejä suoritettaessa noin 5–7 minuuttia syttymisen jälkeen havaittiin CO -pitoisuudessa kohouma, joka ylitti 5 000 ppm pitoisuuden toistuvasti. Polttoaineen syötön epätasaisuudet vaikuttavat olennaisesti pitoisuuden vaihteluun ja toistuvuudesta päätellen tulisi hakea mahdollisimman pieni aloituspanos, jolla syttyminen on varmaa. Testejä suoritettaessa CO:n muodostumiselle ei löydetty eri tehokuormilla yhtenevää suuntausta. Arvot vaihtelivat hieman eri testijaksoilla, mutta yleisesti katsoen pysyivät alhaisimmillaan

⁸ Hohle, E.E. 2001. Bioenergi-miljø, teknikk og marked Energigården 2001: Brandbu, Norge

jäännöshapen arvoilla 7–11 %. Käytettäessä 6 mm pellettiä pitoisuudet olivat alhaisemmat kuin 8 mm pelletillä. Graafiset esitykset pitoisuuksille on ilmoitettu kulloisenkin testijakson omassa osiossaan (LIITTEET 9 ja 10).

Liite 7. Testijakso 1

SALAINEN 10.4.2011

Testijakso 1 Elektromen - ohjausjärjestelmän perustestaus, Ø 8 mm

Testijakson 1 aikana oli tarkoitus suorittaa mittauksia laitteiston päästöarvoille. Kuitenkin kylmän sään aiheuttama mittalaitteiden toimimattomuus esti mittaukset.

Laitteistolla oli aikaa testin aikana toimia 191 tuntia, josta poltin kävi 129,35 tuntia. Tämä on 67,7 % kokonaisajasta. Häiriöistä johtuen laitteisto oli toimimatta testijakson aikana 5,1 h, joka on 3,9 % kokonaisajasta ja 2,7 % polttimeen toiminta-ajasta. Kokeen aikana tuotettiin energiaa energiamäärämittarilla mitaten 2 455 kWh, jolloin polttimeen käyttötuntilaskuriin sidottuna tehona on ollut 19 kW.

TAULUKKO 2. Laitteiston asetukset testijaksolla 1

Kattilan asetukset	% / s
Puh. 1	35
Puh. 2	30
Alkutäyttö	45
Kiihdytys	45
Täyttö	5
Tauko	19
Asetuslämpö	80
Hystereesi	5
Liekki	145
Testijakso	1

Pellettiä käytettiin 555 kg jolloin kokonaishyötysuhteeksi testijaksolla saatiin 93 %. Energiamäärämittarin lukema kirjattiin ennen laitteiston sytyttämistä, sekä laitteiston sammumisen jälkeen, jolloin veteen sitoutuneen energian määrä pystyttiin todentamaan. Korkeaa kokonaishyötysuhdetta voidaan perustella polttimeen suhteellisen suurella käyntiajalla testin kokonaisajasta, jolloin tyhjäkäyntihäviön osuus pienenee. Keskimääräinen polttimeen seisokkiaika oli testijaksolla 13 minuuttia ja keskimääräinen polttimeen toiminta-aika 71 minuuttia.

Tuhkaa kertyi palotilan pohjalle 1,35 kg, kattilan seinämiin sekä konvektion pintoihin 0,15 kg. Palamattoman pelletin määrä todennettiin seulomalla jäähtynyt tuhka 3,15 mm seulalla, jota kertyi 0,14 kg.

Pellettisiilon täyttämisestä kulkeutui puupölyä polttimeen suojakotelon sisätilaan (KUVIO 18). Polttimeen kotelon sisätilaan puupölyä kertyi hyvin vähän. Polttimeen suojaputken sisään kertyi tuhkaa testijakson aikana. Polttimeen suojaputkeen kertyvän tuhkan määrä kasvaa poltinputkea nuohotessa, koska ilmarei'istä putoaa tuhkaa (KUVIO 19). Testijakson 1 ajalta nuohouksessa putoavan tuhkan määrää ei pystytä todentamaan jälkikäteen. Tämä otettiin huomioon testijaksosta 2 eteenpäin.



KUVIO 18. Puupölyä polttimeen kotelossa



KUVIO 19. Tuhkan muodostuminen suojaputkeen

Testijakson aikana häiriöitä oli 5 kappaletta. Häiriötiheydeksi muodostui 0,63 häiriötä vuorokautta kohden testin kokonaisajasta, sekä 0,93 häiriötä vuorokaudessa polttimeen käyntivuorokausia kohden. Testijakson aikana käytettiin ohjelmaversiota 1,7.

TAULUKKO 3. Polttimeen häiriöt testijaksolla 1

Jakso 1, 20 kW		Brutto	Netto
7 vrk		7,96	5,39
Versio 1,7	kpl	häiriötä / vrk	häiriötä / vrk
Syöttöhäiriö	1	0,13	0,19
Sytytyshäiriö		0,00	0,00
Palamishäiriö	2	0,25	0,37
Polttimeen lämpötilan nousu	1	0,13	0,19
Sähkökatko		0,00	0,00
Muu	1	0,13	0,19
yhteensä	5,00	0,63	0,93

Käyttöhäiriöt jakautuivat kronologisesti testijaksolla seuraavasti:

1. Liekki sammui, syytä ei löytynyt
2. Liekki sammui, syytä ei löytynyt
3. Ohjelman kaatuminen, virrat pois
4. Lämpötilan nousu, yllilämpösuoja laukesi
5. Liekki sammui, holvaantumista pudotusputkessa, putki liian loivassa kulmassa.

Liite 8. Testijakso 2

Testijakso 2, Ø 8 mm

Laitteistoa kuormitettiin noin 20 kW kuormalla. Simuloitujen häiriötilanteiden välinen aika hyödynnettiin laitteiston toimivuuden perustestaukseen. Asetuksina käytettiin taulukosta ilmeneviä arvoja. Erona testijaksoon 1 oli polttoaineen syöttötiheyden ja ajan muutokset (TAULUKKO 4). Näillä muutoksilla pyrittiin pääsemään tasaisempaan polttoaineen syöttöön, jolloin polttoaineen syttymis- ja palamissykli olisi pienempi. Tällöin olisi mahdollista päästä pienempiin hiukkas- ja savukaasupäästöihin. Lisäksi puhaltimen 1 asetus 35 % muutettiin 37 prosenttiin. Perusteena muutokselle oli savukaasuanalysaattorilla todettu korkea CO-pitoisuus savukaasuissa. Muutoksia ei kuitenkaan tehty kerralla enempää, jotta nähtäisiin onko polttoaineen syötön säädöllä vaikutusta asiaan.

TAULUKKO 4. Laitteiston asetukset testijaksolla 2

Kattilan asetukset	% / s
Puh. 1	37
Puh. 2	30
Alkutäyttö	45
Kiihdytys	45
Täyttö	2
Tauko	8
Asetuslämpö	80
Hystereesi	5
Liekki	145
Testijakso	2

Laitteistolla oli aikaa testin aikana toimia 144 tuntia, josta poltin kävi 106,18 tuntia. Tämä on 72,7 % kokonaisajasta. Häiriöistä johtuen laitteisto oli toimimatta testijakson aikana 0,1 h, joka on 0,4 % kokonaisajasta ja 0,1 % polttimen toiminta-ajasta.

Kokeen aikana tuotettiin energiaa energiamäärämittarilla mitaten 2 644 kWh, jolloin polttimen käyttötuntilaskuriin sidottuna tehona on ollut 24,9 kW. Todellinen teho on ollut laskennallista pienempi, koska tuotettuun energiamäärään kuuluu myös simuloitujen häiriötilanteiden tuottama energia. Häiriötilanteessa poltin on voinut olla sam-

munut ohjelmallisesti, mutta itse paloprosessi on jatkunut.

Pellettiä käytettiin 633 kg jolloin kokonaishyötysuhteeksi testijaksolla saatiin 88 %. Energiamäärämittarin lukema kirjattiin ennen laitteiston sytyttämistä, sekä laitteiston sammumisen jälkeen, jolloin veteen sitoutuneen energian määrä pystyttiin todentamaan. Polttimen seisokki- ja toiminta-aikoja ei mitattu testijakson aikana.

Tuhkaa kertyi palotilan pohjalle 4,45 kg, kattilan seinämiin sekä konvektion pintoihin 0,38 kg. Palamattoman pelletin määrää ei todennettu mittaamalla. Poltinputkeen tuhkaa kertyi 40,6 grammaa (KUVIO 20), sekä suojaputkeen 16,41 g.



KUVIO 20. Poltinputken nuohouksen jälkeen kertynyt tuhka

Testijakson aikana laitteistolle tapahtui yksi häiriö (TAULUKKO 5). Häiriötiheydeksi muodostui 0,17 häiriötä vuorokautta kohden testin kokonaisajasta, sekä 0,23 häiriötä vuorokaudessa polttimen käyntivuorokausia kohden. Tiheys on huomattavasti alhaisempi kuin testijaksolla 1. Testijakson aikana käytettiin ohjelmaversiota 1,7 kolmena vuorokautena, sekä versiota 1,75 kolmena vuorokautena. Toimintahäiriö tapahtui versiolla 1,75.

TAULUKKO 5. Polttimen häiriöt testijaksolla 2

Jakso 2, 20 kW		Brutto	Netto
Vapo 8 mm, 6 vrk		6,00	4,42
Versio 1,7 2 vrk / 1,75 2 vrk	kpl	häiriötä / vrk	häiriötä / vrk
Syöttöhäiriö		0,00	0,00
Sytytyshäiriö		0,00	0,00
Palamishäiriö		0,00	0,00
Polttimen lämpötilan nousu	1	0,17	0,23
Sähkökatko		0,00	0,00
Muu	1	0,17	0,23
yhteensä	2,00	0,33	0,45

Viimeisen testivuorokauden aikana laitteiston laskurit eivät toimineet. Häiriö ei vaikuttanut laitteiston muuhun toimintaan. Ohjainyksikön virrankatkaisulla laskurit alkoivat jälleen toimia.

Simuloidut häiriöt

1. Ylilämpösuojan laukeaminen

Johdon irrottamisen jälkeen näyttöön

HÄLY: lämmitys

Alasajo 90

jonka jälkeen aloitti alasajon laitteistolle, laskien 90 s alaspäin.

Tämän jälkeen näyttöön

HÄLY: Lämmitys

Ylilämpösuoja

Laitteisto jäi häiriötilaan ja ilmoitus gsm:n kautta. Kuittauksen jälkeen jatkoi toimintaa normaalisti ja ilmoitti gsm-hälytyksen kautta kuittauksesta. Jos liekki oli vielä havaittavissa, jatkoi suoraan lämmitykseen. Jos liekkiä ei ollut havaittavissa, aloitti sytyttämisen. Sytytysvaiheessa ei havaittu ongelmia.

Jos RESET -painikkeella kuitataan häly, ennen kuin vika on korjattu, aloittaa ohjelma uudelleen **alasajon 90 s** alaspäin, sekä tämän jälkeen suoritti hälytyk-

sen

HÄLY: Lämmitys

Ylilämpösuoja

Häiriö toistettiin laitteistolla viisi kertaa, joissa kaikissa toiminta oli sama, ohjelmistoversiolla 1,7.

2. Valosilmän vaurio

Johdon irrottamisen jälkeen 30 sekuntia jatkoi toimintaa, jonka jälkeen aloitti loppupuhalluksen, joka kesti 90 sekuntia. Tämän jälkeen näyttöön

HÄLY: Lämmitys

Liekki sammui

Ilmoitus gsm-laitteiston kautta, jäi häiriötilaan kunnes kuitattiin RESET – painikkeesta. Kuittauksen jälkeen jatkoi toimintaa normaalisti ja ilmoitti gsm-hälytyksen kautta kuittauksesta. Jos liekki oli vielä havaittavissa, jatkoi suoraan lämmitykseen. Jos liekkiä ei ollut havaittavissa, aloitti sytyttämisen. Sytytysvaiheessa ei havaittu ongelmia.

Jos RESET – painikkeella kuitataan häly ennen kuin vika on korjattu, laitteisto aloitti toiminnan seuraavasti:

SYTYTYS 1/2

Alkupuhallus 20 sekuntia ja tämän jälkeen sytytyksen alkutäyttö.

LÄMPÖVASTUS 420

7 minuutin jälkeen laitteisto siirtyi vaiheeseen

Sytytys 2/2

välipuhalluksen (120s) kautta vaiheeseen

Puolitäyt+Läm

Täytön jälkeen

Lämpövastus 420

liekin syttyessä toimintaa jatkettiin normaalisti (johto kytkettiin takaisin), jos syttymistä ei tapahtunut valosilmästä johtuen

Häly: Sytytys

alasajo 90

Häly: Sytytys

Liekki ei syty

Toiminta vastasi polttimen ohjeen kaaviota.

Häiriö toistettiin laitteistolla viisi kertaa, joissa kaikissa toiminta oli sama, ohjelmistoversiolla 1,7.

3. Lämpötila-anturin vaurio

Lämpötila-anturin vaurio simuloitiin katkaisemalla yhteys anturin virtapiirissä ts. irrotettiin polttimen ohjainyksikön liitinrivistöstä anturin johto.

Johdon irrottamisen jälkeen ohjainyksikön lämpötila-arvo nousi 150 celsiukseen, jonka aikana välittömästi aloitti laitteiston alasajon.

Häiriö toistettiin laitteistolla viisi kertaa, joissa kaikissa toiminta oli sama, ohjelmistoversiolla 1,75.

4. Syöttöruuvien työtila jää päälle

Polttoaineen syöttötilan jäädessä päälle laitteistolla on kaksi mahdollisuutta, riippuen kattilan lämpötilasta ja energian kulutuksesta.

Alhaisella kattilanlämpötilalla lämpötila -asetusajan jälkeen laitteisto aloitti alasajon, lämpötilan nousematta yli kattilansuojarajan ylitse. Palaminen jatkui luonnonvedolla laitteiston sammumisen jälkeen. 16 minuutin jälkeen ilmoitus:

Häly: Lämmitys

Liekki ei sammui

Pelletin loppuessa pudotusputken yllilämpösuoja laukesi. Josta seurasi ilmoitus:

Häly: Lämmitys**Yllilämpösuoja**

Korkeammalla kattilan lämpötilalla ja energian kulutuksen ollessa vähäistä kattilalämpö nousi kattilan suojakytkimen asetusarvoon, jonka jälkeen ohjauskeskus sammui. Tämän jälkeen palaminen jatkui luonnonvedolla, pelletin loppuessa pudotusputken yllilämpösuoja laukesi, mutta hälytys ei siirtynyt.

Siirtoruuvi ehtii täyttää pudotusputket ennen hystereesiä, jolloin siirtoruuvien ylikuormittuminen tai pudotusputken rikkoutuminen olisi mahdollista. Koetta ei suoritettu siirtolaitteiston osalta näin pitkälle. Työtilan jäädessä päälle poltin polttaa kaiken pelletin mitä polttimelle asti viedään, joka riippuu pudotusputken kulmasta siirtoruuvien jälkeen ja siirtoruuvien kestävyyydestä.

Kattilan asetuslämpötilan saavutettuaan, laitteisto suoritti alasajon ohjelmallisesti. Tämän jälkeen ohjelma aloitti laskemisen 960 sekunnista alaspäin, jonka jälkeen ilmoitus.

HÄLYTYS: Liekki ei sammui

Häiriö toistettiin laitteistolla viisi kertaa, ohjelmistoversiolla 1,75.

5. Puhaltimen pysähtyminen

Pysähtymisen jälkeen laitteisto jatkoi toimintaa luonnonvedolla. Savukaasu muuttui väreilystä mustanharmaaksi - mustaksi, sekä lämpötila 195–205 celsiuksesta 90–95 celsiukseen. Häkäarvot ylittivät 5000 ppm alle kahdessa minuutissa. Lambda -arvo vaihteli alun 1,2 luonnonvedon palotilanteeseen 1,03.

Polttoaineen syötön asetuksina oli:

- Tauko 8
- Täyttö 2

Puhaltimen pysähtymisen jälkeen palaminen jatkui palopäässä 18–33 minuuttia, jonka jälkeen ohjelma suoritti ylälämpösuojan laukeamisen johdosta alasajon. Ohjausjärjestelmä suoritti ohjelmallisesti jälkipuhalluksen, mutta johdon irtioton takia ei puhallusta suoritettu. Liekki sammui polttoaineen loppumisen johdosta 5–7 minuutissa ylälämpösuojan laukeamisen jälkeen. Ylälämpösuojan kuittaaminen oli mahdollista 25–35 minuutin jälkeen liekin sammumisesta ilman polttimeen suojakoteloä ja kotelon kanssa 55–65 minuutin kulluttua. Kuittaaminen olisi ollut mahdollista suorittaa nopeammin irrottamalla poltin ja puhdistamalla se hehkuvasta pellettistä, joka muodosti lämpöä ylälämpösuojalle.

Pudotusputken yläosan pintalämpötila ei noussut testien aikana yli 29 °C:n. Pudotusputken alaosan pintalämpötila nousi testien aikana korkeimmillaan 77 °C:een, vaihtelun ollessa välillä 44–77 astetta. Palotilaan kertyi palamatonta pellettiä puhaltimen pysähtymisen jälkeen, joka kuitenkin syttyi ja paloi vähäiseksi kattilan pohjalla.

Laitteisto suoritti ohjelmallisesti alasajon, jos puhaltimen sammumisen jälkeen lämpötila nousi ylitse asetetun rajan. Lämpötilan laskeessa hystereesin verran, laitteisto aloitti sytyttämisen ilman puhallinta. Hehkuva pelletti yhdessä laitteiston sytytysjärjestelmän kanssa sai tulen uudelleen syttymään. Tämän jälkeen toiminta oli vastaavaa kuin ilman alasajoa.

Ylälämpösuojan toimiessa ja pelletin siirtolaitteistojen ollessa ilmatiiviitä takapalovaaraa ei olisi. Johdon kiinnittämisen jälkeen toiminta jatkui normaalisti.

Parannusehdotukset:

- Anturi, joka ilmoittaisi puhaltimen pysähdyksestä.

Häiriö toistettiin laitteistolla neljä kertaa, joissa kaikissa toiminta oli sama, ohjelmistoversiolla 1,75

Liite 9. Testijakso 3

SALAINEN 10.4.2011

Testijakso 3. Kestotesti , Ø 8 mm

Laitteistoa kuormitettiin testissä 4 vuorokautta noin 20 kW kuormalla. Testin kaksi ensimmäistä vuorokautta järjestelmää ohjattiin ohjelmaversiolla 1,75. Tämän jälkeen ohjelmaversio vaihdettiin versioon 1,8. Testi jouduttiin keskeyttämään kahden vuorokauden jälkeen kylmän sään johdosta, koska mittauslaitteistot eivät toimineet. Tämä on osaltaan vaikuttanut mittaustuloksiin.

Laitteistolla oli aikaa testin aikana toimia 114,85 tuntia, josta poltin kävi 101,8 tuntia. Tämä on 88,6 % kokonaisajasta. Kokeen aikana tuotettiin energiaa energiamäärämittarilla mitaten 2 165 kWh, jolloin polttimeen käyttötuntilaskuriin sidottuna tehona on ollut 21 kW. Laitteistolla käytettiin asetuksina seuraavia (TAULUKKO 6).

TAULUKKO 6. Laitteiston asetukset testijaksolla 3

Kattilan asetukset	% / s
Puh. 1	37
Puh. 2	30
Alkutäyttö	45
Kiihdytys	45
Täyttö	2
Tauko	8
Asetuslämpö	80
Hystereesi	5
Liekki	145
Testijakso	3

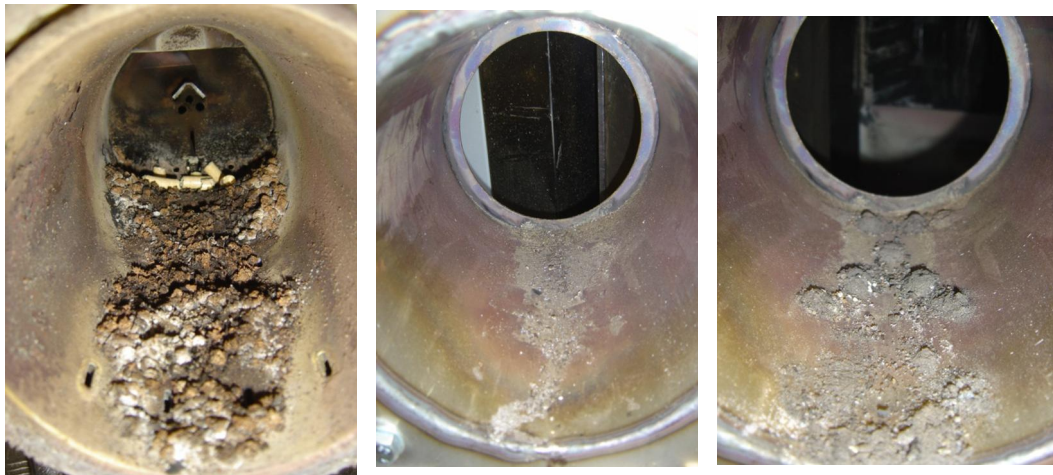
Pellettiä käytettiin 491 kg jolloin kokonaishyötysuhteeksi testijaksolla saatiin 93 %. Energiamäärämittarin lukema kirjattiin ennen laitteiston sytyttämistä, sekä laitteiston sammumisen jälkeen, jolloin veteen sitoutuneen energian määrä pystyttiin todentamaan. Korkeaa kokonaishyötysuhdetta voidaan perustella polttimeen suhteellisen suurella käyntiajalla testin kokonaisajasta, jolloin tyhjäkäyntihäviön osuus pienenee. Jak-

son kokonaishyötysuhde on sama kuin jaksolla yksi.

Olettamana voisi pitää lyhyemmällä testijaksolla parempaa hyötysuhdetta, koska lämmönsiirtopinnoille ei ehdi muodostua hyötysuhdetta alentavaa tuhkakerrosta. Selityksenä tälle voisi pitää kesken jakson suoritettua alasajoa laitteistolle, mutta teoria ei selitä muuten suhteellisen korkeaa kokonaishyötysuhdetta.

Tuhkaa kertyi palotilan pohjalle 1,4 kg, kattilan seinämiin sekä konvektion pintoihin 0,45 kg. Palamattoman aineksen osuudeksi palotilan tuhkassa saatiin 0,99 kg eli 71 % massasta. Palamattoman aineksen osuus tuhkassa todennettiin polttamalla palotilan tuhkasta näyte laboratorio-olosuhteissa.

Poltinputken sisään kertyi jakson aikana tuhkaa 22,27 g. Tästä tuhkamäärästä nuohouksen yhteydessä karisi suojaputkeen 5,23 g, jossa ennen nuohousta tuhkan määrä oli 1,39 grammaa (KUVIO 21).



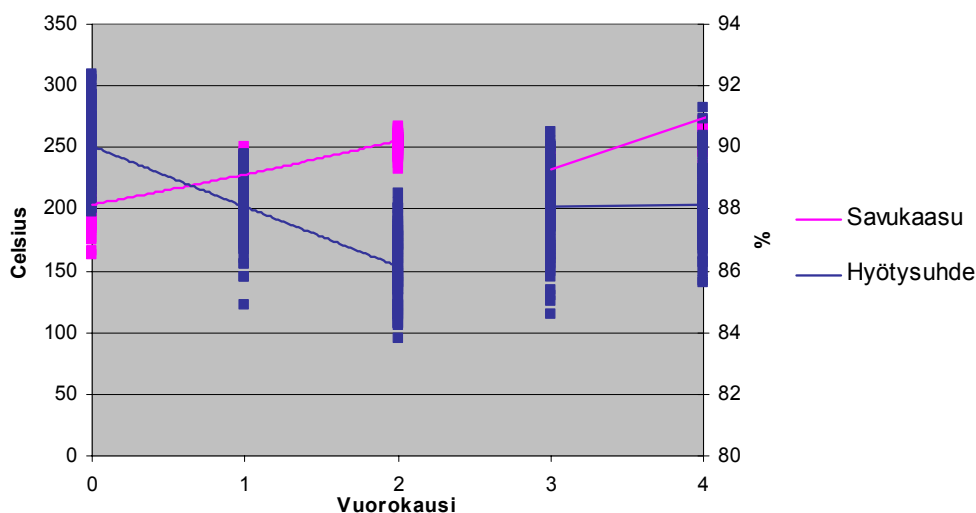
KUVIO 21. Tuhkan muodostuminen poltinputkeen (vas.), sekä suojaputkeen ennen(kesk.) ja jälkeen nuohouksen (oik.) 20 kW tehokuormalla

Polttimen suojaputkeen karisseen tuhkan määrä oli vähäinen, mutta useiden nuohousten yhteydessä kariseva tuhka täyttäisi suojakoteloa ja näin ollen saattaisi muuttaa ilman virtausta paloprosessiin.

Mittaustuloksia

Järjestelmälle suoritettiin lähtötasomittaus, jolla todennettiin laitteiston suoritusarvot savukaasuista mitaten. Jokaiselle testivuorokaudelle pyrittiin suorittamaan mittaus samaan aikaan, jolloin voidaan todentaa miten suoritusarvot muuttuivat testin edetessä.

Savukaasuista mitaten hyötysuhde aloituspäivänä oli 89 % (KUVIO 22), laskien 87 %:iin testin loppuun mennessä. Savukaasun lämpötila lähtötilanteessa oli noin 210 °C ja testijakson lopussa noin 260 °C.

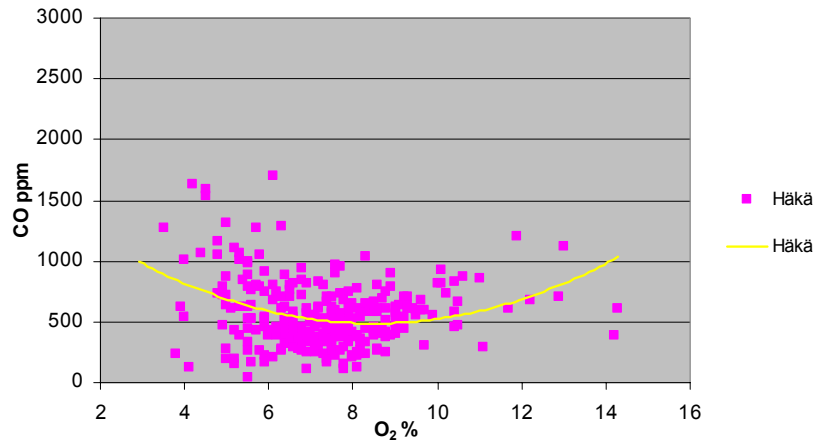


KUVIO 22. Savukaasun lämpötilan ja hyötysuhteen kehitys 20 kW tehokuormalla

Toisen päivän jälkeen hyötysuhteessa on havaittavissa nousua. Nousun syyksi voidaan arvioida keskeytystä testin suorituksessa. Mittaus suoritettiin jo lämmentyneelle kattilalle, joten kylmän kattilan ja sitä kautta paremman hyötysuhteen vaikutus mittaukseen on poistettu. Hyötysuhteen nousu on havaittavissa myös savukaasun lämpötilassa, joka laskee toisen mittauspäivän jälkeen. Lämpömäärämittarilla todetun kokonaishyötysuhteen (92 %) korkeaa arvoa voidaan kyseenalaistaa savukaasuista mitatulla hyötysuhteella, joka korkeimmillaan on ollut noin 90 %.

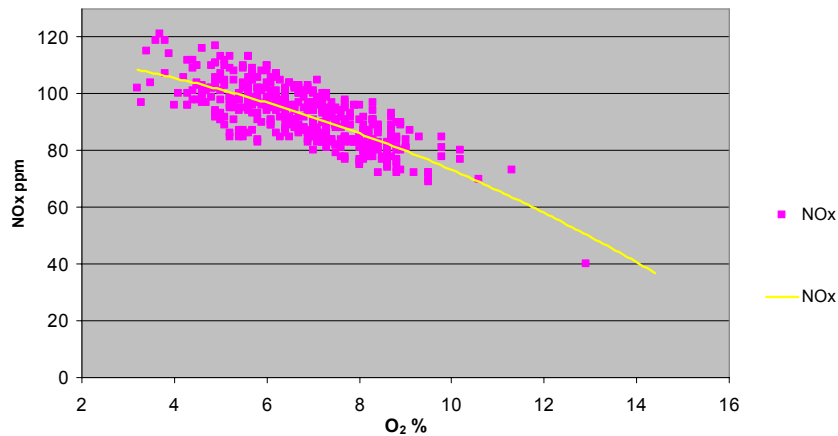
Laitteistoa kuormitettiin testin aikana noin 20 kW tehokuormalla, jolloin tehojaksoiden pituus oli suhteellisen pitkä, 89 % kokonaisajasta. Tällöin syttymis- sammumisvai-

heen häkäpäästöjen ajallinen osuus on huomattavasti pienempi kuin esimerkiksi laitteistoa kuormitettaessa 5 kW tehokuormalla (33 ja 29 % kokonaisajasta). Kuviosta nähdään häkä-arvot eri jäännöshappi-pitoisuuksilla (KUVIO 23).



KUVIO 23. Häkäarvot eri jäännöshappipitoisuuksilla 20 kW tehokuormalla

Jäännöshapen arvoilla 6–10 % päästiin testin aikana alhaisimpiin CO -pitoisuuksiin. NO_x -pitoisuus asettui testijakson aikana 70–120 ppm välille. Suhteellista pitoisuutta saataisiin alemmaksi lisäämällä syötettävää ilmamäärää (KUVIO 24).



KUVIO 24. Typenoksidit hapen funktiona 20 kW tehokuormalla

Liite 10. Testijakso 4

SALAINEN 10.4.2011

Testijakso 4

Laitteiston asetukset olivat samat kuin aikaisemmilla testijaksoilla. Testiviikolle kaksi laitteiston asetuksia muutettiin polttoaineen vaihtumisen johdosta (TAULUKKO 7). Laitteiston säädöissä erona polttoaineiden välillä oli puhaltimen asetuksen nosto 37 %:sta 40 %:iin, sekä alkuäytön keston muutos 45 sekunnista 40 sekuntiin 6 mm puupelletillä.

TAULUKKO 7. Laitteiston asetukset testijaksolla 4

Kattilan asetukset	% / s	% / s
Puh. 1	37	40
Puh. 2	30	30
Alkuäyttö	45	40
Kiihdytys	45	45
Täyttö	2	2
Tauko	8	8
Asetuslämpö	80	80
Hystereesi	5	5
Liekki	145	145
Testijakso	4, 8 mm	4, 6 mm

Vaihe 1, viikko 1, Ø 8 mm

Viikolla yksi testijakson pituus oli 167 tuntia, josta poltin kävi 87,2 tuntia. Tämä on 52,2 % kokonaisajasta. Häiriöistä johtuen laitteisto oli toimimatta testijakson aikana 5,83 h, joka on 6,7 % kokonaisajasta ja 3,5 % polttimen toiminta-ajasta. Kokeen aikana tuotettiin energiaa energiamääramittarilla mitaten 1 662 kWh, jolloin polttimen käyttötuntilaskuriin sidottuna tehona on ollut 19 kW. Pellettiä käytettiin 421 kg jolloin kokonaishyötysuhteeksi testijaksolla saatiin 83 %. Keskimääräinen polttimen seisokkiaika oli testijaksolla 25 minuuttia ja keskimääräinen polttimen toiminta-aika 32 minuuttia.

Tuhkaa kertyi palotilan pohjalle 0,8 kg, kattilan seinämiin sekä konvektion pintoihin

0,45 kg. Tuhkapitoisuudeksi palotilan tuhkassa saatiin 70,2 % eli 0,61 kg. Palamattoman aineksen osuus tuhkassa todennettiin polttamalla palotilan tuhkasta näyte laboratorio-olosuhteissa. Poltinputken sisään kertyi jakson aikana tuhkaa 64,35 g. Tästä tuhkamäärästä nuohouksen yhteydessä karisi suojaputkeen 9,82 g, jossa ennen nuohousta tuhkan määrä oli 1,26 grammaa (KUVIO 25).



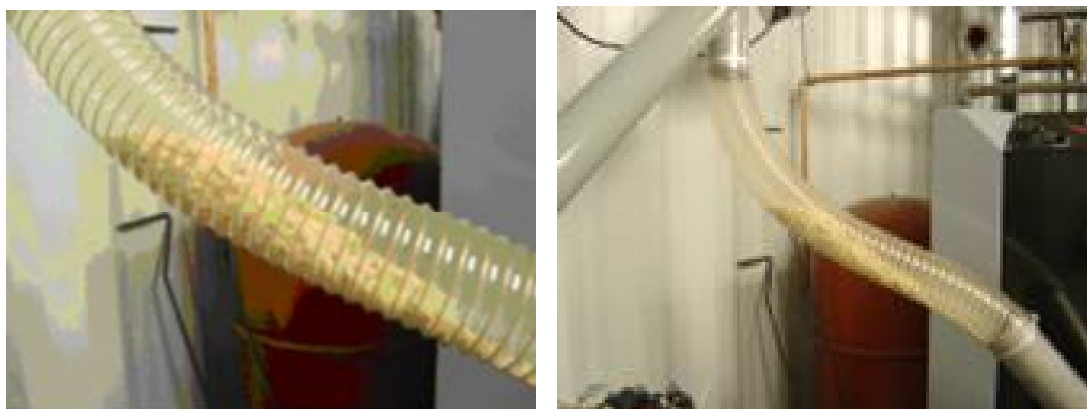
KUVIO 25. Tuhkan muodostuminen poltinputkeen (vas.), sekä suojaputkeen ennen (kesk.) ja jälkeen nuohouksen (oik.) 10 kW tehokuormalla

Viikolla 1 häiriöitä tapahtui yksi (TAULUKKO 8). Häiriötiheydeksi muodostui 0,14 häiriötä vuorokautta kohden testin kokonaisajasta, sekä 0,28 häiriötä vuorokaudessa polttimen käyntivuorokausia kohden. Testijakson aikana käytettiin ohjelmaversiota 1,8.

TAULUKKO 8. Polttimen häiriöt viikolla 1

Jakso 4, 10 kW		Brutto	Netto
Vapo 8 mm, 7 vrk		6,96	3,63
Versio 1,8	kpl	häiriötä / vrk	häiriötä / vrk
Syöttöhäiriö	1	0,14	0,28
Sytytyshäiriö		0,00	0,00
Palamishäiriö		0,00	0,00
Polttimen lämpötilan nousu		0,00	0,00
Sähkökatko		0,00	0,00
Muu		0,00	0,00
yhteensä	1,00	0,14	0,28

Käyttöhäiriön syyksi testiviikolla selvisi pudotusputken liian loiva kulma, jolloin pelletti holvasi (KUVIO 26). Putken rakenteessa ei havaittu mahdollisia häiriön aiheuttajia. Loivalla kulmalla voidaan hidastaa pelletin vieremänopeutta polttimeen, jolloin pelletin pysähtyminen polttimeen paloprosessiin olisi varmempaa. Liian loivalla kulmalla kuitenkin aiheutetaan turhia käyntihäiriöitä.



KUVIO 26. Liian loivassa laskukulmassa olleeseen putkeen holvaantunutta pellettiä

Vaihe 1, viikko 2, Ø 6 mm

Viikolla kaksi testijakson pituus oli 163 tuntia, josta poltin kävi 82,12 tuntia. Tämä on 50,3 % kokonaisajasta. Häiriöistä johtuen laitteisto oli toimimatta testijakson aikana 2,08 h, joka on 2,5 % kokonaisajasta ja 1,3 % polttimeen toiminta-ajasta. Kokeen aikana tuotettiin energiaa energiamäärämittarilla mitaten 1 645 kWh, jolloin polttimeen käyttötuntilaskuriin sidottuna tehona on ollut 20 kW. Pellettiä käytettiin 386 kg jolloin kokonaishyötysuhteeksi testijaksolla saatiin 90 %. Keskimääräinen polttimeen seisokkiaika oli testijaksolla 25,71 minuuttia ja keskimääräinen polttimeen toiminta-aika 26,29 minuuttia.

Tuhkaa kertyi palotilan pohjalle 0,2 kg, kattilan seinämiin sekä konvektion pintoihin 0,1 kg. Tuhkapitoisuudeksi palotilan tuhassa saatiin 76,7 % eli 0,15 kg. Palamattoman aineksen osuus tuhassa todennettiin polttamalla palotilan tuhasta näyte laboratorio-olosuhteissa. Poltinputken sisään kertyi tuhkaa 22,9 g jakson aikana Tästä tuhkamäärästä nuohouksen yhteydessä karisi suojaputkeen 5,36 g, jossa ennen nuohousta tuhkan määrä oli 4,67 grammaa (KUVIO 27).



KUVIO 27. Tuhkan muodostuminen poltinputkeen (vas.), sekä suojaputkeen ennen (kesk.) ja jälkeen nuohouksen (oik.) 10 kW tehokuormalla.

Viikolla 2 häiriöitä tapahtui kolme kappaletta (TAULUKKO 9). Häiriötiheydeksi muodostui 0,44 häiriötä vuorokautta kohden testin kokonaisajasta, sekä 0,88 häiriötä vuorokaudessa polttimen käyntivuorokausia kohden. Testijakson aikana käytettiin ohjelmaversiota 1,8.

TAULUKKO 9. Polttimen häiriöt viikolla 2

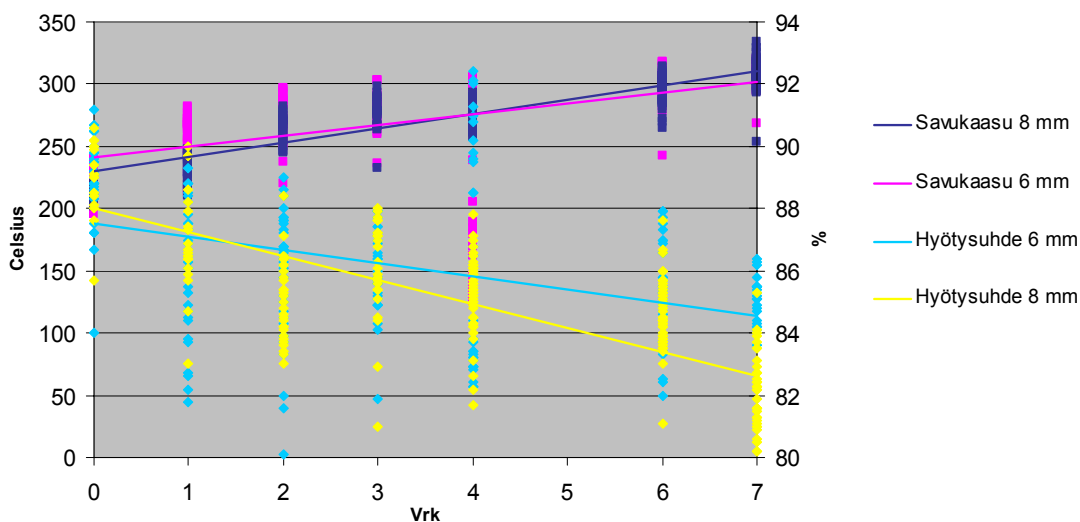
Jakso 4, 10 kW		Brutto	Netto
Vapo 6 mm, 7 vrk		6,79	3,42
Versio 1,8	kpl	häiriötä / vrk	häiriötä / vrk
Syöttöhäiriö	1	0,15	0,29
Sytytyshäiriö		0,00	0,00
Palamishäiriö		0,00	0,00
Polttimen lämpötilan nousu	2	0,29	0,59
Sähkökatko		0,00	0,00
Muu		0,00	0,00
yhteensä	3,00	0,44	0,88

Syöttöhäiriö johtui pelletin pudotusputken loivasta kulmasta, kuten edelliselläkin testiviikolla, jolloin pelletti tukkesi putken. Lämpötilan nousun johdosta laitteiston toiminta keskeytyi kahdesti. Mahdollisena häiriön aiheuttajana voidaan pitää lämmityspuhallinta, joka esilämmitti polttimelle menevää kylmää ilmaa.

Testitulokset viikoilta 1 ja 2

Testijaksolla viikolla 2 havaittiin mittalaitteessa ollut vika, jonka vuoksi viidennen päivän mittaustulokset jouduttiin hylkäämään. Tapahtuneesta johtuen myös viikolla 1 mitatut viidennen päivän tulokset poistettiin, jotta tulokset olisivat vertailukelpoiset keskenään.

Savukaasujen lämpötilan muutos oli hyvin samantapainen kahdella eri polttoaineella. Lämpötilaltaan 8 millimetrisellä puupelletillä aloituslämpötila oli alhaisempi. Testiviikon loppuun mennessä kuitenkin savukaasun lämpötila oli noussut ohitse 6 mm puupelletin (KUVIO 28).

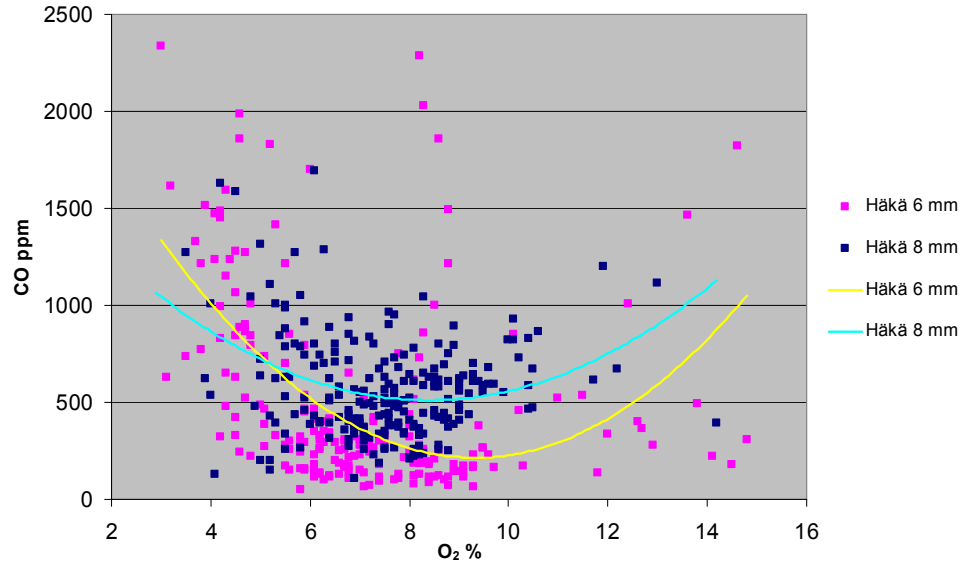


KUVIO 28. Savukaasun lämpötilan ja hyötysuhteen kehitys 10 kW tehokuormalla

Suuremmalla ilmamäärällä alun tilanteessa hyötysuhde on jäänyt alhaisemmaksi kuin pienemmällä asetuksella. Testiviikon aikana on kuitenkin havaittavissa hyötysuhteen hitaampi madaltuminen, sekä savukaasujen lämpötilan hitaampi nousu runsaammalla ilmamäärällä.

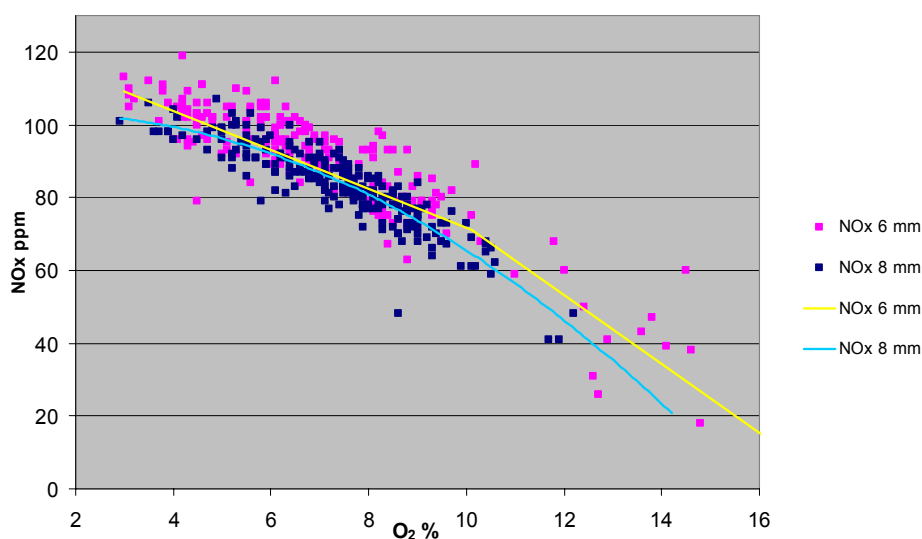
Laitteistoa kuormitettiin testin aikana noin 10 kW tehokuormalla. Tehojaksojen pituus 8 mm pelletillä oli 56 % ja 6 mm pelletillä 51 % kokonaisajasta. Syttymisen ja sammumisen häikäpäästöjen ajallinen osuus on huomattavasti suurempi kuin esimerkiksi

laitteistoa kuormitettaessa 20 kW tehokuormalla (89 % kokonaisajasta). Kuviosta 22 nähdään häkä-arvojen jakautuminen eri jäännöshappipitoisuuksille.



KUVIO 29. Häkäarvot eri jäännöshappipitoisuuksilla 10 kW tehokuormalla

Arvoilla 6–10 % päästiin alhaisimpiin CO-pitoisuuksiin savukaasuissa. Pelleteillä on huomattava ero häkäpäästöissä, läpimitaltaan 6 mm pelletillä päästöt ovat pienemmät. Häkäarvojen vaihtelua selittää epätasaisuus polttoaineen syötössä, sekä syttymis- ja sammumisjaksojen osuus tehovaiheen kestosta. Alkutäytön ajallista kestoa pienentämällä pelleteillä voitaisiin mahdollisesti alentaa syttymisvaiheen CO-päästöjä. NO_x -pitoisuus asettui testijakson aikana 60–115 ppm välille (KUVIO 23).



KUVIO 30. Typenoksidit hapen funktiona 10 kW tehokuormalla

Vaihe 2, viikko 1, Ø 6 mm

Viikolla yksi testijakson pituus oli 167,75 tuntia, josta poltin kävi 49,25 tuntia. Tämä on 29,7 % kokonaisajasta. Kokeen aikana tuotettiin energiaa energiamäärämittarilla mitaten 835 kWh, jolloin polttimen käyttötuntilaskuriin sidottuna tehona on ollut 17 kW. Pellettiä käytettiin 227,25 kg jolloin kokonaishyötysuhteeksi testijaksolla saatiin 77 %. Keskimääräinen polttimen seisokkiaika oli testijaksolla 45,43 minuuttia ja keskimääräinen polttimen toiminta-aika 18,43 minuuttia.

Tuhkaa kertyi palotilan pohjalle 0,40 kg ja kattilan seinämiin sekä konvektion pintoihin 0,25 kg. Tuhkapitoisuudeksi palotilan tuhkassa saatiin 68,2 % eli 0,27 kg. Palamattoman aineksen osuus tuhkassa todennettiin polttamalla palotilan tuhkasta näyte laboratorio-olosuhteissa. Poltinputken sisään kertyi tuhkaa 27,68 g jakson aikana. Tästä tuhkamäärästä nuohouksen yhteydessä karisi suojaputkeen 3,92 g, jossa ennen nuohousta tuhkan määrä oli 0,8 grammaa (KUVIO 31).



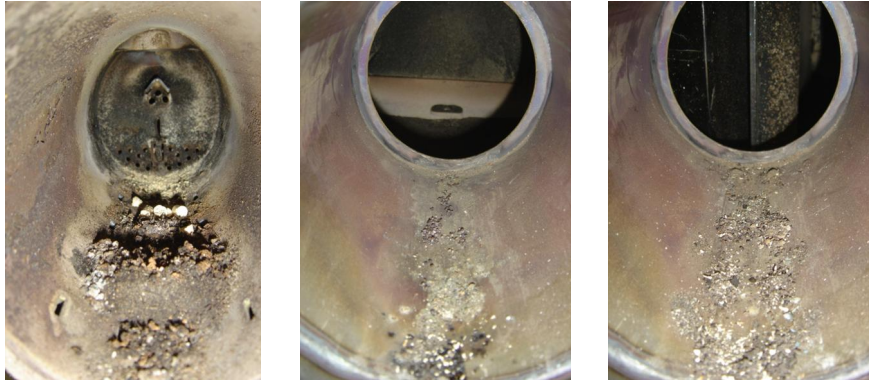
KUVIO 31. Tuhkan muodostuminen poltinputkeen (vas.), sekä suojaputkeen ennen (kesk.) ja jälkeen nuohouksen (oik.) 5 kW tehokuormalla

Testin aikana ei tapahtunut toimintahäiriöitä. Jatkuvana tehokuormana 5 kW vastaa lähinnä omakotitalon jatkuvaa lämmöntarvetta.

Vaihe 2, viikko 2, Ø 8 mm

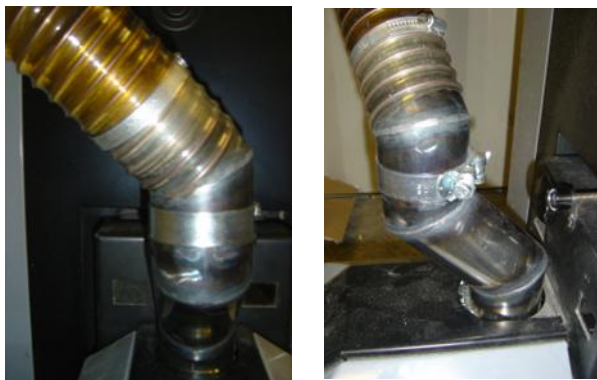
Viikolla kaksi testijakson pituus oli 168 tuntia, josta poltin kävi 57,2 tuntia. Tämä on 34,07 % kokonaisajasta. Häiriöistä johtuen laitteisto oli toimimatta testijakson aikana 5,42 h, joka on 9,46 % kokonaisajasta ja 3,22 % polttimen toiminta-ajasta. Kokeen aikana tuotettiin energiaa energiamäärämittarilla mitaten 892 kWh, jolloin polttimen käyttötuntilaskuriin sidottuna tehona on ollut 16 kW ja kokonaisaikaan sidottuna tehona 5 kW. Pellettiä käytettiin 244 kg jolloin kokonaishyötysuhteeksi testijaksolla saatiin 77 %. Keskimääräinen polttimen seisokkiaika oli testijaksolla 41,33 minuuttia ja keskimääräinen polttimen toiminta-aika 20,17 minuuttia.

Tuhkaa kertyi palotilan pohjalle 0,50 kg ja kattilan seinämiin sekä konvektion pintoihin 0,15 kg. Tuhkapitoisuudeksi palotilan tuhassa saatiin 54 % eli 0,27 kg. Palamattoman aineksen osuus tuhassa todennettiin polttamalla palotilan tuhasta näyte laboratorio-olosuhteissa. Poltinputken sisään kertyi tuhkaa 19,41 g jakson aikana. Tästä tuhkamäärästä nuohouksen yhteydessä karisi suojaputkeen 2,67 g, jossa ennen nuohousta tuhkan määrä oli 1,18 grammaa (KUVIO 32).



KUVIO 32. Tuhkan muodostuminen poltinputkeen (vas.), sekä suojaputkeen ennen (kesk.) ja jälkeen nuohouksen (oik.) 5 kW tehokuormalla

Testiviikolle otettiin käyttöön tehtaalta toimitettu uusi ”mutkaputki”, jolla voitiin hidastaa pelletin vierimisnopeutta polttimelle. Myöhäisen toimituksen johdosta putkea ei ehditty käyttää useammilla asennusvaihtoehdoilla, jotta toimivuudelle olisi voitu etsiä suotuisin asennustapa tai kunnollista vertailukohdetta normaaliin putkeen (KUVIO 33).



KUVIO 33. Mutkaputken asennuskuvaus

Tuhkatilassa ei havaittu visuaalisesti normaalista pitoisuudesta poikkeavaa määrää palamatonta pellettiä. Lyhyen testin perusteella yllä kuvatun asennusvaihtoehdon vaikutusta palamattoman aineksen osuuteen tuhkatilassa ei voida luotettavasti määrittää. Vanhaan putkeen verrattuna uuden asentamisessa tarvitsee nostaa huomattavasti välisäiliöltä tulevaa ruuvia, jotta pelletin vierimiselle tarvittava kaltevuus saavutetaan.

Mutkaputken asennuksessa kannattaa kokeilla seuraavaksi ruuvien suunnalta pois päin suunnattua mutkaa, jolloin hidastava vaikutus on luultavasti suurempi.

Viikolla 2 häiriöitä tapahtui yksi kappale (TAULUKKO 10). Häiriötiheydeksi muodostui 0,14 häiriötä vuorokautta kohden testin kokonaisajasta, sekä 0,42 häiriötä vuorokaudessa polttimen käyntivuorokausia kohden. Testijakson aikana käytettiin ohjelmaversiota 1,8.

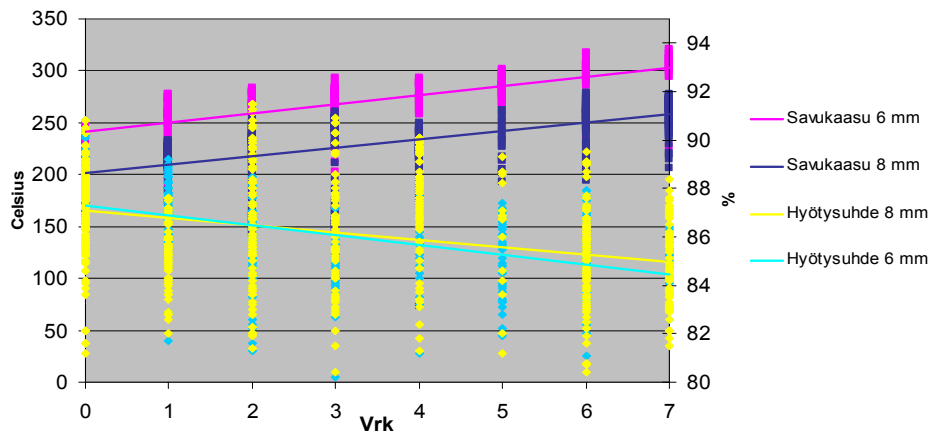
TAULUKKO 10. Polttimen häiriöt

Jakso 4, 5 kW		Brutto	Netto
Vapo 8 mm, 7 vrk		7,00	2,38
Versio 1,8	kpl	häiriötä / vrk	häiriötä / vrk
Syöttöhäiriö		0,00	0,00
Sytytyshäiriö		0,00	0,00
Palamishäiriö	1	0,14	0,42
Polttimen lämpötilan nousu		0,00	0,00
Sähkökatko		0,00	0,00
Muu		0,00	0,00
yhteensä	1,00	0,14	0,42

Palamishäiriön syytä ei pystytty todentamaan.

Testitulokset viikoilta 1 ja 2

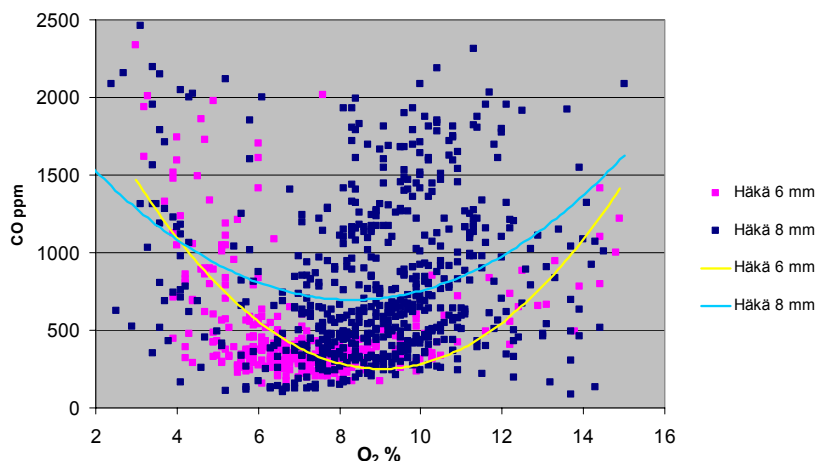
Tietojen tallennustiheytenä käytettiin 30 sekuntia. Savukaasujen lämpötilan muutos oli hyvin samansuuntainen kahdella eri polttoaineella. Lämpötilaltaan 8 millimetrisellä puupelletillä lämpötila oli alhaisempi testin ajan. Hyötysuhde laski testin loppuun mennessä 6 mm pelletillä alhaisemmaksi. (KUVIO 34).



KUVIO 34. Savukaasun lämpötilan ja hyötysuhteen kehitys 5 kW tehokuormalla

Laitteiston säädöt olivat samat kuin 10 kW tehokuormalla. Savukaasujen lämpötiloissa 10 ja 5 kW testijaksoilla pysyttiin pääsääntöisesti alle 300 °C. Poikkeavuutena on 5 kW testijaksolla 8 mm pelletin savukaasun lämpötila, joka on koko testin ajan 30–45 celsiusta matalampi kuin muilla. Syy-seuraus suhdetta ei löydetty.

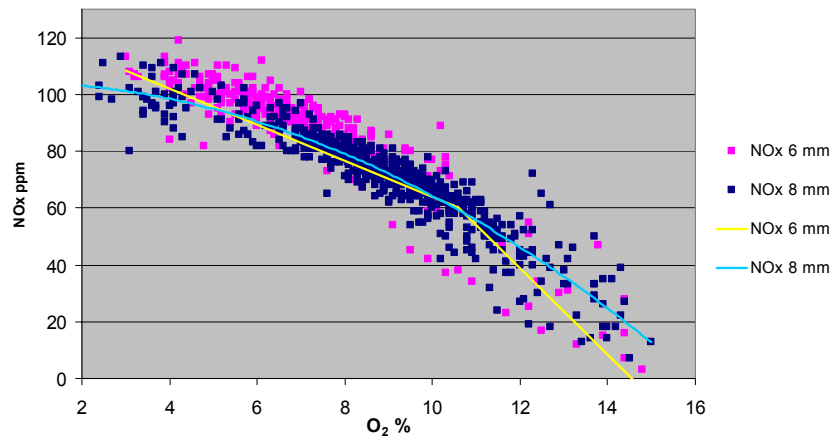
Laitteistoa kuormitettiin testin aikana noin 10 kW tehokuormalla. Tehojaksojen pituus oli 8 mm pelletillä 33 % ja 6 mm pelletillä 29 % kokonaisajasta. Syttymis- sammumisvaiheen häikäpäästöjen ajallinen osuus on huomattavasti suurempi kuin esimerkiksi laitteistoa kuormitettaessa 20 kW tehokuormalla (89 % kokonaisajasta). Kuviosta 28 nähdään häikä-arvojen jakautuminen eri jäännöshappipitoisuuksille.



KUVIO 35. Häkäarvot eri jäännöshappipitoisuuksilla 5 kW tehokuormalla

Jäännöshapen arvoilla 7–11 % päästiin alhaisimpiin CO-pitoisuuksiin. Polttoaineiden välillä on havaittavissa hyvin suuri ero häkä-arvoissa. Kahdeksan millimetrisellä pelletillä häkäarvot jakautuivat hajalleen, verrattuna 6 mm pellettiin. Hajautuminen oli voimakkaampaa 5 kW, kuin 10 kW tehokuormalla. Arvojen vaihtelua selittää epätaisuus polttoaineen syötössä, sekä syttymis- ja sammumisjaksojen osuus tehovaiheen kestosta.

NO_x -pitoisuudet asettuivat pääsääntöisesti testijakson aikana 40–115 ppm välille. Polttoaineiden välillä ei havaittu merkittäviä eroja.



KUVIO 36. Typenoksidit hapen funktiona 5 kW tehokuormalla